

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА И ИХ РОЛЬ В РАЗВИТИИ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Щипцов В. В.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

Фенноскандинавский щит – это мегаструктура с длительным активным периодом становления от ранних этапов формирования земной коры (> 3.5 млрд лет) со сменой геологических режимов во всей последующей истории геологического развития от архея до настоящего времени.

Становление континентальной коры Лапландско-Кольско-Карельской провинции (значительная часть территории Карелии и Кольского полуострова) проходило в позднем архее и завершилось в условиях протоплатформенного режима в палеопротерозое. Стратиформная кора Свекофеннской геоструктурной области, охватила центральную часть щита (центральная и юго-восточная Швеция, южная Финляндия, юго-западная Карелия), сформировавшись 2000–1550 млн лет назад. Во время кратонизации этой области в интервале 1700–1550 млн лет продолжалось накопление в остаточных бассейнах терригенно-порфировых и терригенных толщ вепсия и внедрение сложных габбро-сиенит-гранитового и габбро-анортозит-рапакиви-гранитового комплексов, локализующихся в южной и юго-западной частях области. Свеконорвежская провинция является самой молодой в составе Фенноскандинавского щита и занимает юго-западную часть. Формирование коры на юго-западе Швеции, юго-востоке и юге Норвегии произошло в мезо и неопротерозое в интервале 1700–850 млн лет. С меняющимися геологическими режимами в докембрии связано формирование разнообразных промышленных минералов.

Значительная роль в формировании минеральной базы данной территории также отводится на северо-западе Фенноскандинавского щита фанерозойским покровам скандинавских каледонид и палеозойской группе интрузий щелочно-ультраосновной с карбонатитами формации и формации агпаитовых нефелиновых сиенитов (рис. 1). К крупнейшим осваиваемым месторождениям промышленных минералов относятся уникальные месторождения апатит-нефелино-

вых руд Хибинского массива, Ковдорский щелочно-ультраосновной массив (апатит, флогопит, вермикулит, бадделейт).

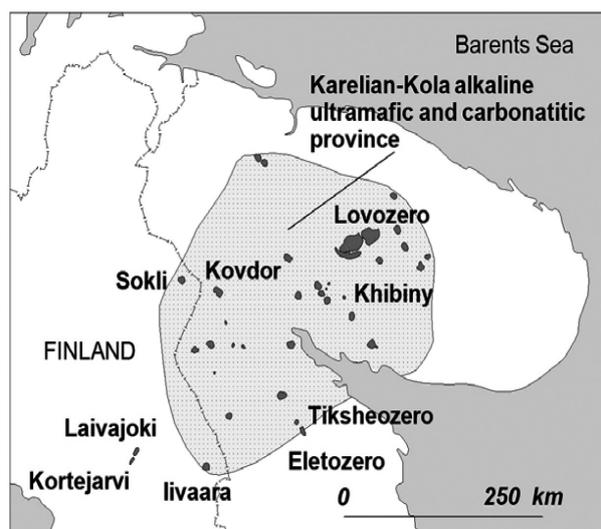


Рис. 1. Размещение интрузий щелочно-ультраосновной с карбонатитами формации и формации агпаитовых нефелиновых сиенитов [4]

Промышленные минералы Фенноскандинавского щита

В мировой практике используется большая группа полезных ископаемых под названием «industrial minerals» (промышленные минералы). Под индустриальными минералами подразумевают обширную группу полезных ископаемых, т. е. все минеральное сырье, которое человек извлекает из недр, кроме энергетических видов сырья, металлов, воды и самоцветов, и может использовать в промышленности благодаря определенным физическим и химическим свойствам [2, 53]. Большое значение придается тому факту, что некоторые металлы используются без металлургического передела как промышленные минералы (ильменит, хромит, кианит и др.).

В мировой практике уже давно при освоении промышленных минералов наметились тенденции, имеющие зависимость от более жестких требований, предъявляемых потребителями

на мировом рынке. П. Харбен и Р. Бейтс [13] считали, что во всех случаях накладывается большая ответственность на поставщиков материалов из промышленных минералов в смысле соблюдения мировых стандартов на готовую продукцию. Особенно это относится к стеклоному производству, наполнителям и покрытиям в бумагоделательной промышленности и т. п. Процесс горной добычи, рудоподготовки и обогащения промышленных минералов все чаще связан с применением новых современных методов, в частности, методов электростатической сепарации и оптической сортировки; методов энергетического, плазмохимического и ионного воздействия, выщелачивания и активации и т. д. Приоритет отдается развитию новых направле-

ний применения минерального сырья, например, в качестве наполнителей для производства резины, бумаги, красок и пластиков, в создании новых энергоносителей, защите окружающей среды и т. д. На мировом рынке минерального сырья усиливается конкурентность. В связи с этим целый ряд промышленных минералов, используемых в прошлом и настоящем, могут за короткий срок стать неконкурентноспособными или наоборот, т. е. появится конъюнктура на новые виды промышленных минералов, называемых минералами XXI века – века «high-tech». Здесь находят применение целый ряд традиционных и новых промышленных минералов (карбонатные породы, диатомиты, гранаты, цеолиты, бентониты, минералы литиевой группы, шунгиты и другие).

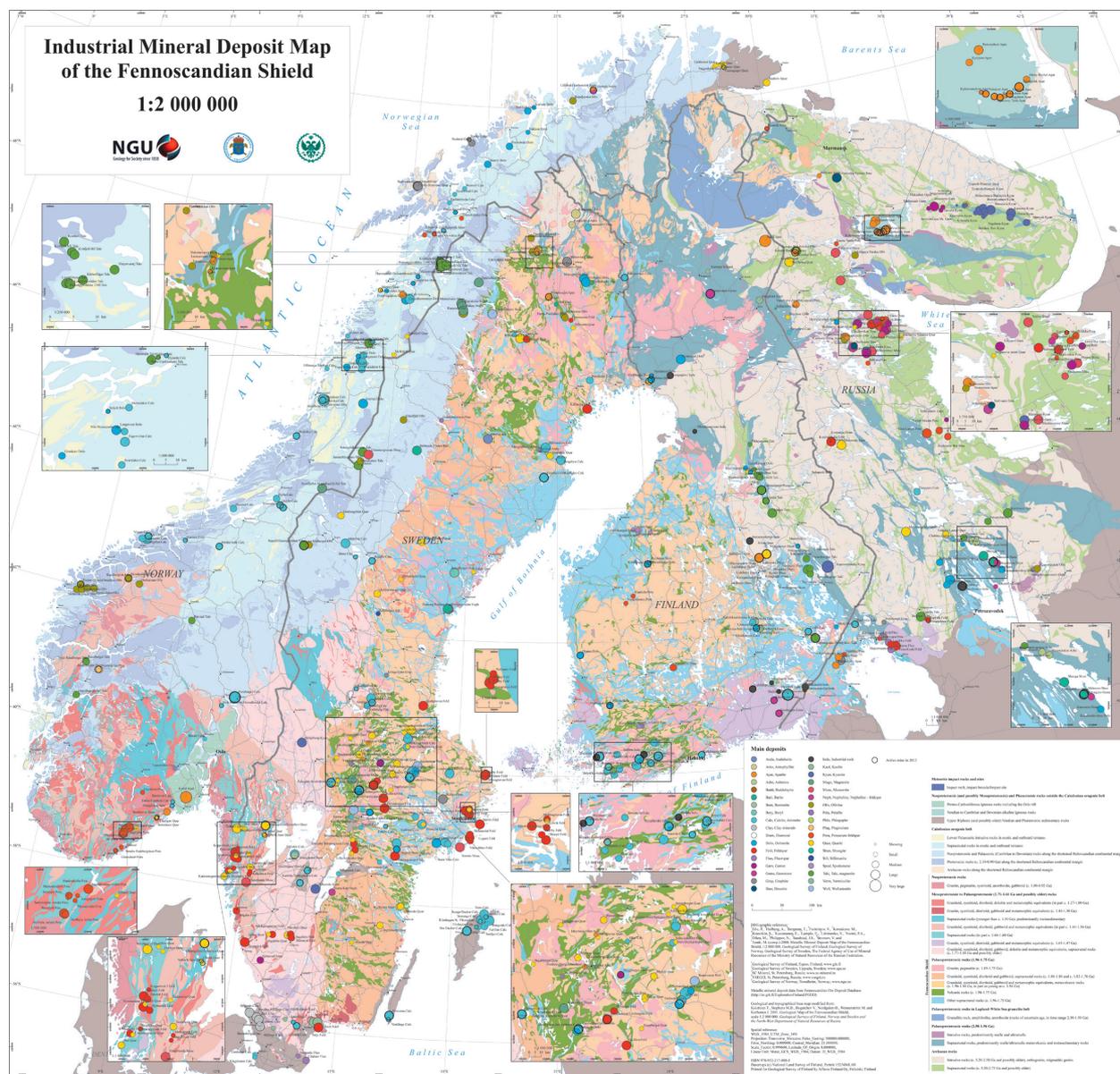


Рис. 2. Карта размещения месторождений промышленных минералов Фенноскандинавского щита [8]

В мировой практике уделено большое внимание индустриальным минералам. Этот интерес год от года усиливается.

В основу изложения принята База данных месторождений промышленных минералов (FODD) ГИС-система «Промышленные минералы Фенноскандинавского щита», включающая информацию о 35 видах минерального сырья в границах данной территории. В эту базу включены данные по 576-ти месторождениям и крупным проявлениям промышленных минералов Фенноскандинавского щита, в том числе по 119 объектам Норвегии, 225 – Швеции, 119 – Финляндии и 115 – России (Карело-Кольский регион). Издана карта промышленных минералов Фенноскандии М: 1:2-000-000, предназначенная для стратегического планирования направлений разведки полезных ископаемых и исследований в области экономической геологии (рис. 2). Участниками проекта являются представители Геологических служб Норвегии, Финляндии и Швеции, Института геологии КарНЦ РАН, Геологического института КНЦ РАН и ГУП «Минерал» [1, 8].

Алмазы

В пределах Карельского кратона расположены многочисленные кимберлитовые породы различных возрастов и минеральных типов [22] (рис. 3). К наиболее выраженным относятся Кимозерская алмазоносная площадь [50, 51], расположенная на северном берегу Онежского озера датируемая возрастом 1760 млн лет и площадь Лентира-Кухмо-Костомукша возрастом 1200 млн лет (кимберлиты и лампроиты).

Алмазы встречены в кимберлитах и лампроитах. На карте показаны кимберлиты и лам-

проиты, а также указаны алмазные рудники в Архангельской области (рис. 3).

Основная часть кимберлитовых трубок размещена на территории Финляндии в районах Куопио-Каави и Куусамо, где кимберлиты датируются возрастом около 600 и 760 млн лет, соответственно.

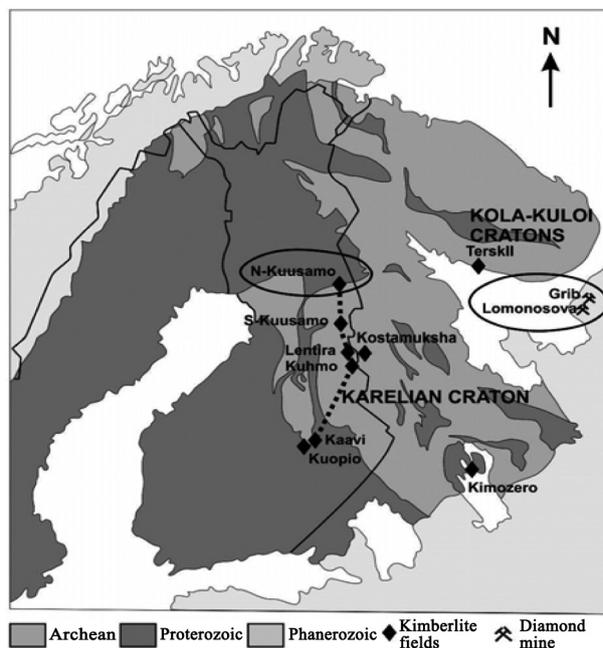
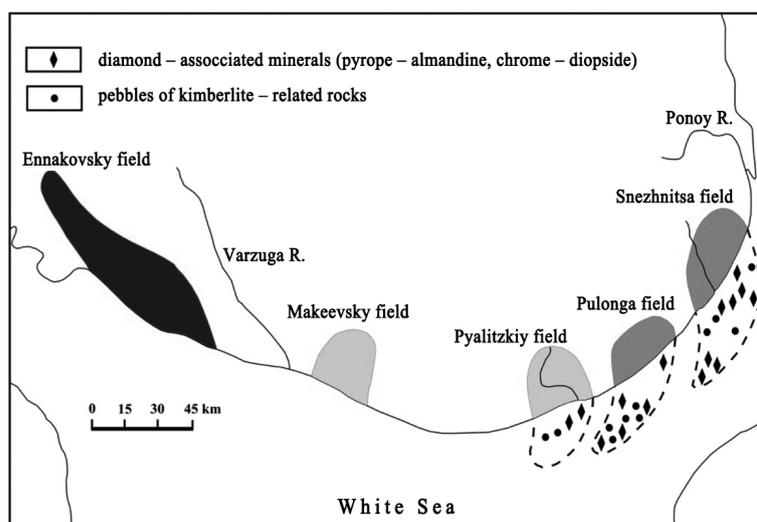


Рис. 3. Обобщенная схема геологического строения Фенноскандии с указанием потенциальных алмазоносных участков [22]

На Терском и Архангельском берегах Белого моря кимберлиты имеют возраст от 360 до 380 млн лет (рис. 4). Архангельские кимберлиты разделены географически и по минеральному составу на восточный и западный подтипы. В западной группе находится первый в Европе алмазный рудник имени Ломоносова, который охватывает шесть отдельных кимберлитовых трубок.

Рис. 4. Схематическая карта установленных и предполагаемых кимберлитовых площадей на Терском берегу Белого моря [10]



Апатит

Основная доля запасов и ресурсов апатитовых руд связана с палеозойскими ультраосновным-щелочным комплексом (УЩК), и прежде всего, с Хибинским массивом, относящимся к крупнейшим щелочным массивам мира. Благодаря наличию уникальных месторождений данного массива, доля апатитовых руд в составе фосфатного сырья является доминирующей в России.

Хибинский массив щелочных пород находится в центральной части Кольского полуострова между крупными озерами Имандра и Умбозеро (рис. 5). В плане он имеет эллипсоидальную несколько вытянутую в субширотном направлении форму (45×35 км) общей площадью 1327 км². Формирование Хибинского массива происходило путем последовательного многостадийного внедрения щелочного магматического расплава мантийного происхождения в позднедевонское время. При этом апатит-нефелиновые руды представляются продуктом конечной кристаллизационной дифференциации обогащенной фосфором ийолит-уртитовой магмы, поступавшей по конической трещине отслоения между более ранними хибинитами краевых частей и несколько более поздними нефелиновыми сиенитами центральной части массива. Наиболее поздним образованием в массиве является карбонатитовый шток ядра [31, 48 и др.]. Возраст Хибинского массива оценивается в 365–369 млн лет [19, 20]. Вмещающие породы в экзоконтакте массива изменены: архейские гнейсы (на севере и востоке) сиенитизированы и в непосредственном контакте (в зоне шириной 5–10 м) превращены в фениты; зеленокаменные протерозойские породы свиты имандра-варзуга (на юге и западе) в зоне до 400 м ороговикованы. Апатит-нефелиновые и титанит-apatитовые руды связаны с ийолит-уртитовыми промежуточными образованиями (apatитовые уртиты, титанитовые ийолиты и т. п.) [37].

Хибинская группа апатит-нефелиновых месторождений включает 15 месторождений и проявлений, сгруппированных в три участка (рудных поля), некоторые из которых эксплуатируются [48]. К главным промышленным минералам относятся апатит, нефелин, пироксен (эгирин-авгит), титанит, полевои шпат (ортоклаз), титаномагнетит и др. Разработаны и апробированы технологические схемы с получением апатитового, нефелинового, титанитового, эгиринового, титаномагнетитового концентратов, однако

в промышленных объемах выпускаются только апатитовый (7–9 млн т в год) и нефелиновый концентрат (1.0–1.5 млн т в год) с содержанием Al_2O_3 – не менее 28%. Все месторождения расположены в пределах ийолит-уртитовой дуги, при этом наиболее крупные запасы сосредоточены в южной ее части (рис. 5). В настоящее время АО «Апатит» эксплуатирует Кукисвумчорр и Юкспор (Объединенный Кировский рудник), Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр (+ Ийолитовый Отрог), Коашва и Ньоркпахк и ведутся подготовительные горно-капитальные работы на месторождении Восточный Расвумчорр. АО «Северо-западная фосфорная компания» (СЗФК) эксплуатирует месторождение Олений Ручей и готовит к эксплуатации месторождение Партомчорр. Остаток балансовых запасов апатит-нефелиновых руд эксплуатирующихся месторождений составляет порядка 2 млрд т со средним содержанием P_2O_5 около 15% [55].

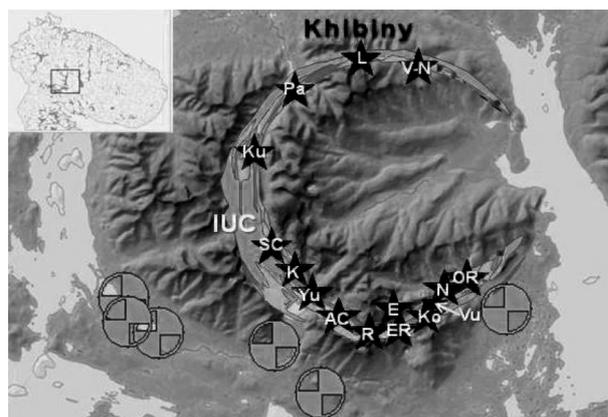


Рис. 5. Топографическая схема Хибинского массива с выделенной ийолит-уртитовой дугой (IUC) и обозначенными апатит-нефелиновыми месторождениями (звездочки): К – Кукисвумчорр; Yu – Юкспор; AC – Апатитовый Цирк; R – Расвучорр Плато; ER – Восточный Расвумчорр; E – Эвслогчорр; Ko – Коашва; Vu – Вуоннемйок; N – Ньоркпахк; OR – Олений Ручей; SC – Снежный Цирк; Ku – Куэльпор; Pa – Партомчорр – Лявочорр; V-N – Валепакх-Намуайв и хвостохралица (круги) (по материалам Д. В. Жирова)

Месторождения различаются по морфологии, размерам, условиям залегания рудных тел и качеству слагающих их руд. Это могут быть простые, весьма значительные по размерам (100–200 м мощностью и протяженностью в несколько километров) пологопадающие пластовые апатит-нефелиновые залежи (месторождения Кукисвумчорр, Юкспор, Расвумчорр и др.), либо сложно построенные многоярусные рудные зоны,

образованные крутопадающими согласными рудными линзами или горизонтами брекчиевых руд (месторождения Коашва, Ньоркпахк, Олений ручей и др.).

Руды сложены главным образом апатитом, нефелином, эгирин-авгитом, титанитом и титаномагнетитом (табл. 1). Количество полевых шпатов, слюд и других минералов незначительно. Повсеместно распространенные апатит-нефелиновые руды обнаруживают пятнистую, пятнисто-полосчатую, линзовидно-полосчатую, крупно- и мелкоблоковую, массивную, сетчатую и брекчиевую текстуры [36].

Таблица 1

Состав основных минералого-технологических типов руд апатито-нефелиновых месторождений Хибин, мас. % [36]

Минералы	Типы руд					
	apatит-нефелиновый		apatит-сфеновый		гипергенно измененный	
	от	до	от	до	от	до
apatит	6.1	91.4	12.0	35.0	16.1	77.0
нефелин	18.2	67.5	19.7	41.5	8.7	44.5
полевой шпат	0.1	8.6	0	3.4	0.6	2.7
пироксены	5.5	25.7	3.7	26.7	0.9	11.8
амфибол	0	1.3	0.5	8.3	–	0.3
сфен	0.6	6.2	10.8	51.9	0.2	3.5
титаномагнетит	0.1	3.9	0.7	4.3	0.1	2.0
ильменит	0	0.3	0.2	3.8	0	0.3
гидроокислы железа	–	–	–	–	0.6	4.2
анатаз	–	–	–	–	0.4	1.2
монтмориллонит	–	–	–	–	0.5	6.0
гидрослюда	–	–	–	–	6.4	24.7

В действующий горно-промышленный комплекс АО «Апатиты» входит современная апатит-нефелиновая фабрика АНОФ-3 и ряд хвостохранилищ (рис. 6, 7).



Рис. 6. Апатит-нефелиновая фабрика (АНОФ-3) (фото автора)



Рис. 7. Хвостохранилище АО «Апатит» (фото автора)

Гигантское предприятие, дающее, можно сказать, опосредованно хлеб всей стране, имеет серьезные проблемы:

1. гигантские масштабы добычи приводят к истощению действующих карьеров;

2. строительство новых карьеров для добычи в таких объемах требует больших капитальных затрат;

3. за годы интенсивной эксплуатации хибинских месторождений закономерно снизилось и содержание в рудах апатита: в тридцатых годах содержание P_2O_5 превышало 30%, в настоящее время доходит до уровня бортовых содержаний 8–13%;

4. гигантские объемы добычи приводят к экологическим катастрофам – не исключаются искусственные землетрясения, которые уже были зафиксированы. Например, в верхних горизонтах старейшего подземного рудника горы Кукисвумчорр в 1989 году отмечено локальное землетрясение в 8 баллов по шкале Рихтера (данные лаборатории сейсмологии ГИ КНЦ РАН), в горных условиях отвалы карьеров представляют угрозу лавиноопасности.

Вторым по значимости промышленным типом являются комплексные апатит-магнетитовые с редкими металлами руды в фоскоритах и карбонатах Ковдорского УЩК этой же палеозойской формации. В настоящее время эксплуатируется единственное Ковдорское бадделит-apatит-магнетитовое месторождение, и еще несколько объектов находятся в резерве. Кроме того, апатит включен в подсчет запасов месторождения апатит-ильменит-титаномагнетитовых руд Гремяха-Вырмес в одноименном палеопротерозойском массиве габбро-перидотитов и щелочных пород. В Карелии перспективы добычи апатита связаны с карбонатами Тикшеозерского массива [54].

*Месторождение апатитовых руд
Сиилинъярви*

Начиная с 1980 года акционерная компания Kemira проводит операции на апатитовом руднике и фабрике минеральных удобрений в Сиилинъярви (Финляндия), расположенной приблизительно в 20 км к северу от г. Куопио (рис. 8). Генетически месторождение Сиилинъярви определяет УЩК. Комплекс образует грубо лентовидный субвертикальный интрузив протяженностью около 16 км и шириной до 1.5 км. Площадь выхода – 14.7 км². Он приурочен к пересечению диагональных (северо-запад – юго-восток) и меридиональных трещинных структур в окружающих гранито-гнейсах архейского возраста (2800 млн лет). Генеральное направление простирания – субмеридиональное. Формирование комплекса началось с интрузии глиммерита (флогопитовая порода с щелочным амфиболом – рихтеритом и апатитом, с участками, богатыми серпентином – антигоритом), которая сменилась интрузией сиенита вдоль контактов глиммерита с гранито-гнейсами. Собственно карбонатит с преобладанием севита интродировал на поздней стадии в глиммеритовое тело. В результате вытянутое ядро комплекса сложено серией пород смешанного состава, варьирующих от глиммерита до карбонатита, а по обе стороны от него находятся сиениты, образующие внешнюю зону комплекса. Фенитовые края вокруг комплекса развиты слабо. Контур промышленной апатитовой минерализации по существу совпадает с глиммерит-карбонатитовым ядром комплекса, имеющим площадь выхода около 4 км². На глубину рудная залежь разведана скважинами до нескольких сотен метров [27].



Рис. 8. Фрагмент карьера Сиилинъярви. Добыча апатитовой руды (фото автора, 2005 г.)



Рис. 9. Карбонатит с апатитовой рудой месторождение Сиилинъярви (фото автора)

В карбонатитах содержится до 10% апатита, до 65% флогопита, 12–14% кальцита, 4–6% доломита и 5% рихтерита (рис. 9). Возраст карбонатитов оценивается в 2580 млн лет [28]. Во время свекофеннского события 1.8 млрд лет назад комплекс испытал сильный метаморфизм, но большая часть пород комплекса показывает хорошо сохранившиеся изверженные текстуры, первичные магматические составы составляющих минералов и сохранение первичных изотопных составов, которые указывают на образование из мантийного источника, как отмечается Н.О’Вриен и другими [26].

С 1980 года выпуск апатитового концентрата достигает 0.65 млн т в год, а добыча руды до 9 млн т. Попутно на Сиилинъярви добывается 0.1 млн т известняка для агрохимии и немного флогопита. Весь получаемый апатитовый концентрат используется на фабрике минеральных удобрений, которая размещена рядом с рудником. Как побочный продукт производства фосфорной кислоты получают гипс путем очищения и обогащения. В настоящее время разработку месторождения ведет компания Kemira Agro, входящая в группу Oyjara International ASA.

*Карбонатитовый комплекс
Сокли*

В финской Лапландии карбонатитовый комплекс Сокли был обнаружен в 1967 году на территории Салла-Савукоски при проведении аэрогеофизических работ. Среди пород массива Сокли выделены две главные разновидности: зона фенитов и массивные карбонатиты. Площадь овального карбонатитового тела составляет 18 км². Центральная часть сложена массивными карбонатитами, которые окружены

поясом неоднородных метакарбонатитов и интенсивно испытавших метасоматические преобразования породами. Магматические карбонатиты представлены фоскоритами и севитами, а метакарбонатиты – фоскориты и силикосевиты. Жилы щелочных лампрофиров завершают становление щелочного комплекса [29]. Массив включен в перспективный объект по добыче апатита.

Минералы группы силлиманита

В России запасы минералов группы силлиманита составляют 4 млрд т, а прогнозные ресурсы достигают 19 млрд т (рис. 10). По запасам и ресурсам руд минералов группы силлиманита Россия занимает первое место в мире [44]. В 30–60-е годы прошлого столетия были разведаны месторождения в Мурманской области, Республике Карелия, Сибири и на Урале.

Типичным примером глиноземистой (кианитовой) формации щитов и древних платформ (метаморфогенный, кейвский тип) являются кейвские кианитовые месторождения, которые

по своим масштабам несравнимы ни с одним из других известных в мире месторождений высокоглиноземистого сырья и по геологическим запасам превосходят все другие месторождения вместе взятые. Запасы кианитовых руд в Кейвах сосредоточены на наиболее крупных месторождениях – Воргельурта, Тавурта, Безымянное, Большой Ров, Ягельурта, Кайнурта, Червурта, Восточная Шуурурта, Шуурурта, Манюк и др. (рис. 11). Они связаны с кианитовыми сланцами нижнего продуктивного пласта пачки Б свиты кейв неоархея. Характерной особенностью пород являются темно-серый цвет, общая повышенная концентрация кианита и многообразие форм его развития. По составу и морфологическим типам кианита среди этих сланцев выделяются параморфические (с параморфозами кианита по хиастолиту), конкреционные, агрегатно-волокнистые (сноповидные, волокнистые, радиально-волокнистые), радиально-лучистые, призматически-зернистые, порфириобластические кианитовые и ставролит-кианитовые сланцы [44].

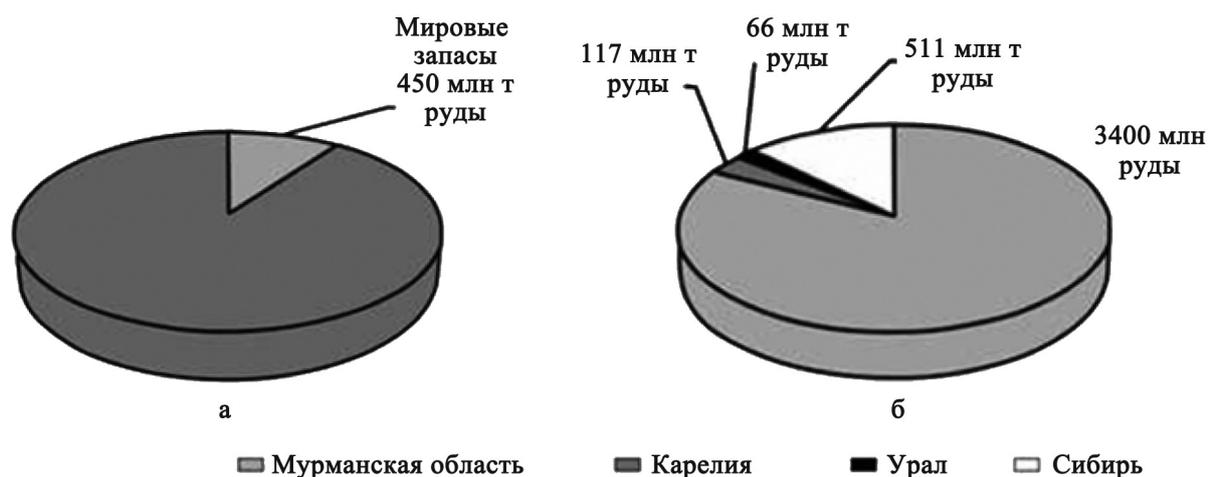


Рис. 10. Мировые запасы руд силлиманитовой группы мира (а) и России (б)

Общая протяженность выходов на поверхность продуктивного пласта кианитовых сланцев в северном и южном крыльях Кейвского синклинория достигает 420 км. В наиболее перспективных участках (общей протяженностью 37 км) мощность продуктивного пласта возрастает до 60–80 м, одновременно повышается содержание кианита в рудах до 35–40%. Такие зоны и приняты за месторождения. Минералогическое изучение кианитовых руд кейвских месторождений показало, что они не могут быть отнесены к категории богатых руд высокоглиноземистого сырья. Запасы кианитовых руд в месторожде-

ниях Кейвской группы Кольского п-ова оцениваются более чем в 2 млрд т, ресурсы – около 10 млрд т.

В Карелии продуктивные кианитовые руды сформированы в пределах Хизоваарской структуры архейского Северо-Карельского зелено-каменного пояса. К потенциальному и оцененному объекту относятся шесть залежей кианит-серицит-кварцевых, кианит-кварцевых сланцев и кианитовых кварцитов метаморфогенно-метасоматического типа месторождения «Южная линза». Общая вытянутость этих залежей в северо-восточном – восточном

направлении составляет расстояние до 900–950 м при мощности 80–100 м. Породы содержат 50–80% кварца, 10–49% кианита, 0–15% рудных минералов; второстепенными минералами

являются серицит и плагиоклаз. Как правило, линзообразные тела подобного типа находятся в ассоциации с игольчатыми кианитовыми рудами в пространственном положении.

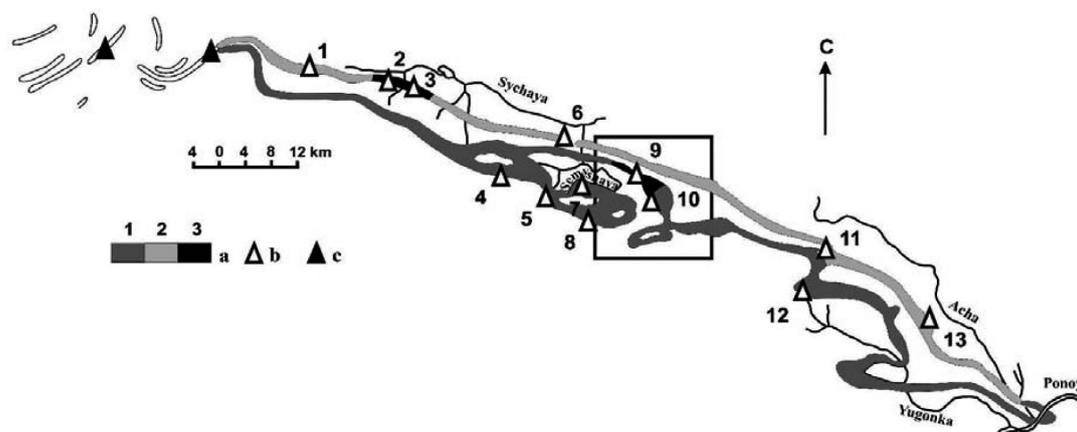


Рис. 11. Распределение главных месторождений кианита и силлиманита на Кейвах. По [32, 35]

а – типы руд в кианитовых и ставролит-кианитовых сланцах пачки Б: волокнисто-игольчатые (1), параморфические (2), крупно-конкреционные (3); б – месторождения кианита; в – месторождения силлиманита. Месторождения: 1 – Воргельурта; 2 – Тавурта; 3 – Тяпышманюк; 4 – Червурта; 5 – Большой Ров; 6 – Безымянная; 7 – Кырпурта; 8 – Ягельурта; 9 – Новая Шуурурта; 10 – Восточная Шуурурта; 11 – Кайнурта; 12 – Нусса; 13 – Манюк

В Карело-Кольском регионе сосредоточено 99.4% балансовых запасов высокоглиноземистого сырья РФ, в том числе 83% – в восточной части Мурманской области в пределах Кейвской структурной зоны, где оценены и частично разведаны 23 месторождения кианитовых и 2 силлиманитовых руд. Разведанные запасы кианита в Кейвах в 1.5 раза превышают мировые, а прогнозные ресурсы составляют около 2 млрд т. Содержание кианита в сланцах составляет в среднем 31.9%.

Продуктивный пласт неогарейских кианитовых сланцев (древнейшее скопление глинозема осадочного происхождения) на территории центральных и восточных Кейв, в широком смысле, является единым «месторождением», а сами кианитовые сланцы представляют собой руду. Но продуктивный пласт на всем его протяжении неоднороден. В отдельных участках меняется его мощность, тектоническое строение, петрографический тип слагающих кианитовых сланцев, содержание в них кианита. Участки продуктивного пласта, более благоприятные по своим геологическим условиям, выделяются как собственно месторождения кианита, а в их пределах различные морфогенетические типы как кианитовые руды. Рудное тело имеет пластовую форму, протяженные выходы на дневную поверхность и пологое падение на глубину, что создает хорошие перспективы развития горных работ.

Инновационные подходы к технологии обогащения кианитовых руд данного объекта с использованием поцикловой трехстадиальной флотации сульфидов, слюды и кианита привели к получению кианитового продукта с содержанием 60% Al_2O_3 , 37.1% SiO_2 , 0.27% Fe_2O_3+FeO , 1.4% TiO_2 , 0.05% S. Основные пути использования конечных кианитовых продуктов Хизоваарского рудного поля – это огнеупоры, высокоточное литье (турбинные лопатки в авиационном моторостроении), санитарный и электрический фарфор, керамическая плитка, фильтры и т. п. [43]. Этот объект наиболее перспективен и подготовлен к освоению по критериям доступности недр.

В северной Швеции районе Шеллефтео известны перспективные проявления андалузитов, которые образовались в результате интенсивных изменений протерозойских супракрустальных пород (рис. 12, 13). Серицит-кварцевые и мусковит-серицитовые сланцы содержат 30–40% андалузита (андалузитовые кварциты). Минералогические исследования показали, что почти весь полевоид шпат замещен слюдой. 33–57% породы состоит из чешуйчатого мусковита (0.05–0.5 мм) и кварца (0.1–0.3 мм). Теоретически могут быть достигнуты следующие показатели обогащения: Al_2O_3 52–60%, Fe_2O_3 0.8–1.2%.

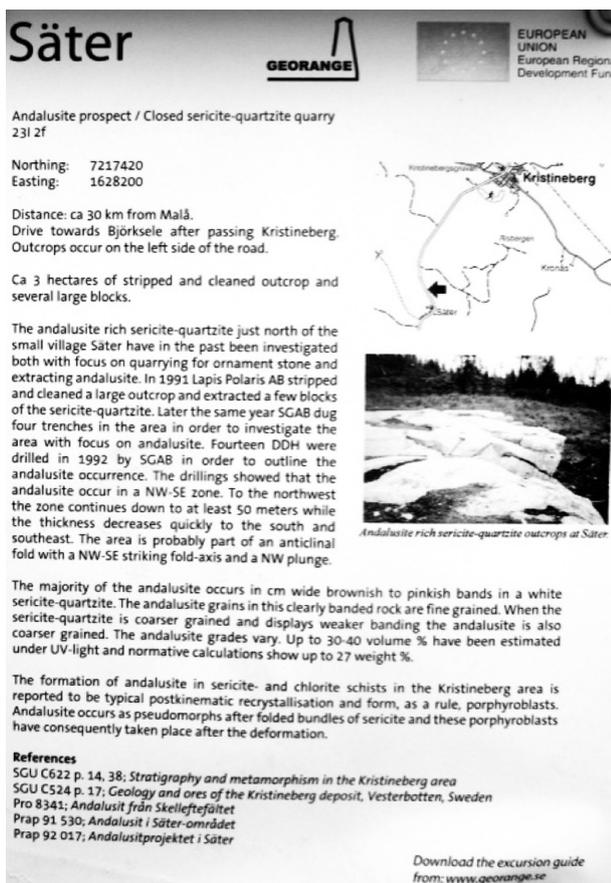


Рис. 12. Рекламный щит на месте выходов кварцитов (фото автора)



Рис. 13. Шведский геолог А. Халберг знакомит с коренными выходами андузитовых кварцитов района Säter. Справа автор статьи

До 1993 года в Швеции разрабатывалось месторождение кианита Холсьюберг компанией Svenska Kyanite AB [12], но, не выдержав конкуренции на западном рынке со стороны американских производителей, разработка карьера приостановлена.

Минералы группы титана

Ильменит относится к одному из распространенных промышленных минералов группы титана и типичному промышленному минералу, образующему месторождения на Фенноскандинавском щите. В крупной анортозитовой провинции Рогаланд [5] размещены Tellnes, Blafjell и Storgangen Fe-Ti месторождения и зарегистрированные проявления [16]. Среди них, несомненно, ведущее значение на протяжении многих лет принадлежит ильменитовому месторождению магматической формации Tellnes, за счет которого по добыче титановой руды Норвегия стоит на одном из первых мест в мире. Месторождение приурочено к крупным дайкам норитов в анортозитах провинции Рогаланд в самой южной части Норвегии (рис. 14). Длина линзообразного рудного тела составляет 2.3 км. Содержание в руде TiO_2 – 18%, магнетита – 2%, сульфидов – 0.25%. Общие запасы перед разработкой месторождения составляли более 300 млн т. Схема обогащения руды достаточно сложная, для получения качественного ильменита требуется комбинация различных методов: магнитной сепарации, гравитации, несколько циклов флотации и выщелачивание. В выпускаемом ильменитовом концентрате содержится 44.5% TiO_2 (табл. 2).

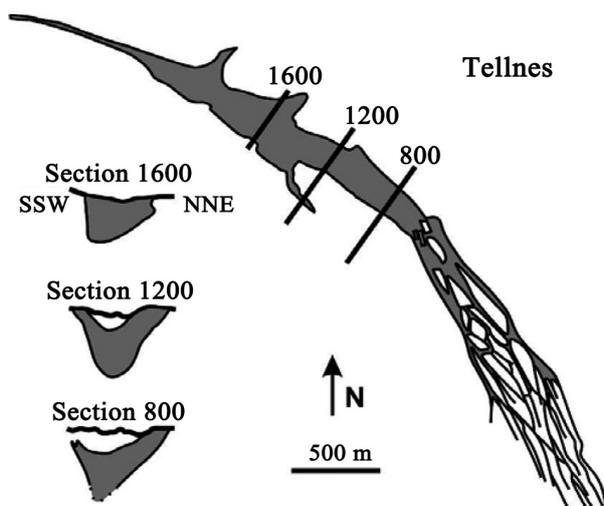


Рис. 14. План ильменитового тела на месторождении Теллес [5]

Таблица 2

**Химический состав (валовый) ильменитового концентрата,
полученного на месторождении Теллес, вес. %**

TiO ₂	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	V ₂ O ₅	MgO	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	S сульф.	C
44–45	2–3.5	34.5–35.5	12–13	0.25–0.35	0.29–0.32	0.15–0.2	3.5–5.1	<0.003	<0.08	<0.25	<0.05

продолжение табл.

Ni	Cu	Co	Zn	Hg	Cd	Pb	U	Th
<200 ppm	<15 ppm	<200 ppm	<200 ppm	<0.01 ppm	<0.1 ppm	<5ppm	ppm<1	<2 ppm

Получаемый концентрат используется в нескольких направлениях:

- как сырьевой материал для производства титанового двуокисного пигмента по технологии сульфатного процесса используется – 20 %;
- для получения титанового шлака в пигментную промышленность – 25 %;
- продается другим производителям пигмента в Европе – 55 %.

Помимо ильменита, продается побочный магнетитовый продукт производства для европейской угольной промышленности и сульфидные концентраты – для извлечения из них никеля и меди. В последнее время, в связи с переходом в пигментном производстве на хлоридный процесс, возникают экологические проблемы, что создает определенные трудности для развития ильменитового производства в Норвегии.

Компания Titania A/S входит в корпорацию Kronos Norge A/S. **Месторождение разрабатывается** открытым способом, добыча составляет 915 тыс. т руды в год, из которой производится титановый концентрат.

В Норвегии имеется целый ряд небольших месторождений, которые представляют эконо-

мический интерес в перспективе. Потенциал целой провинции анортозитов Рогаланд [6] считается значительным. Наиболее важное месторождение рутила связано с эклогитами, залегающими в различных частях Западной Норвегии [15, 17]. Эти месторождения присутствуют в обогащенных титаном габброидах докембрия, которые трансформировались в эклогиты при наложенном метаморфизме высоких давлений каледонского периода развития с переходом ильменита в рутил. Такие месторождения с относительно невысокими содержаниями рутила (2–6 %) встречаются нередко. Наиболее известное месторождение – это месторождение Енгебэфеллет на северном берегу Фэрдфьорд в Согн ог Фьордане.

Nordic Mining ASA развивает проект Engebøfjellet по добыче рутила. Планируются две стадии: первая стадия – открытая добыча; вторая стадия – подземная разработка. В рутилсодержащих эклогитах с запасами 154 млн т руды среднее содержание рутила составляет 3.8%. Nordic Mining ASA планирует добывать 100 тыс. т рутила в год и 100 тыс. т гранатового концентрата (табл. 3).

Таблица 3

Состав рутилового концентрата Engebø, мас. %

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	S	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	U, ppm	Th, ppm
0.03–0.2	93–97	0.4–0.8	1.6–4.7	0.03–0.2	0.1–0.2	0.2–0.3	0.25	0.02	0.01	0.84	0.21

Магнезиальное сырье

В Фенноскандии были заложены основы по использованию оливина в качестве промышленного минерала. Заслуга принадлежит В. Гольдшмидту [11] в тот период, когда он был во главе Норвежского комитета по минеральному сырью (Statens Råstoffkomité). Добыча началась в дунитовой части массива Алмкловдален в 1948 г. Компания A/S Olivin производила до 4 млн т продукции для огнеупоров и минеральной ваты. В 2003 году этой компанией акции проданы компании North Cape Minerals,

основанной в 1993 г. в составе American Unimin Corp [14].

В 2008 году в Норвегии произведено 2.5 млн т оливниновой продукции, что составило 40% всего мирового производства. Сейчас три из четырех горных предприятий приостановили свою деятельность в связи с уменьшением спроса на готовую продукцию. Действующий рудник принадлежит компании North Cape Minerals. Эта компания проводит добычу в западной части Норвегии, недалеко от Ахейма (Åheim), эксплуатируя дуниты Алмкловдален. 75% продукции

используется в металлургии железа и стали для восстановителя шлаков, остальные в основном связаны с огнеупорными материалами. Запасы оливина Алмкловдален оцениваются в 2 млрд т горной массы [25]. Средний минеральный состав дунита: оливин 92%, пироксен и серпентин 5%, хлорит 1.5% и шпинель 1%. Состав оливина – 94% форстерита и 6% фаялита [14].

Общей чертой для всех месторождений является то, что они формируются во внутренних частях зональных метаморфических линз, более или менее устойчивых по составу, образованных в высокометаморфизованной области докембрийских пород Западного гнейсового района. Ультрамафические тела района Алмкловдален входят в состав полиметаморфического гнейсового комплекса юго-западной Норвегии. Они образуют конусообразные деформированные тела. Метаморфизованные ультрамафические тела представлены дунитами, гранатовыми лерцолитами и хлоритовыми гарцубургитами. Главный тип – это дунит гомогенного состава. На эти породы оказано влияние трех событий: свекофеннский цикл (1600–1800 млн лет), свеконорвежский цикл (900–1200 млн лет) и каледонский цикл (350–600 млн лет). Отмечено, что дуниты испытали продолжительные деформации в ретроградных Р-Т условиях метаморфизма, причиной которого были мантийные процессы условий фации гранатовых перидотитов через глубиннокоровые и в конечном итоге верхнекоревые условия амфиболитовой фации метаморфизма. Близкая ассоциация дунитов с рассланцованными гнейсами отражает тот факт, что дуниты связаны с глубинными разломами. Серпентинизация ограничивается в значительной степени только в контактовых зонах дунитов [3].

На территории Норвегии прогнозируются потенциальные перспективные проявления оливинсодержащих пород. Считается, что вероятность обнаружения их очень высокая, если принимать во внимание наличие большого количества линз в Каледонской горной цепи, где фиксируются благоприятные РТ-условия для метасоматических преобразований ультрамафитов [23]. Норвегия выступала значительным производителем металлического магния вплоть до 2001 г., что составляло 9% от мирового объема.

В Швеции в начале 30-х годов оливин использовался в производстве теплоустойчивых материалов. Небольшие объемы производились

для минеральных удобрений. Сегодня оливин применяется в огнеупорах. Большинство месторождений оливина сформировано в шведских каледонидах. В Ямтлэнде оливинсодержащие породы с красновато-желтой окраской на выветрелой поверхности разрабатывались с 1950-х до середины 80-х годов. Эти породы использовались в производстве огнеупорных кирпичей и плит для пола. В докембрийских образованиях на этой площади оливины не имеют широкого распространения. Только одно небольшое проявление в Пурну эксплуатировалось. В настоящее время не производится собственная продукция, но на нескольких объектах проводится пилотная добыча [56].

В восточной части Финляндии месторождения и проявления талькового камня и талька расположены в границах Карельского кратона Фенноскандинавского щита. По минеральному составу эти образования талька объединяются в две группы: апоультрамафитовый тальковый камень и апокарбонатный тальк (талькит). Апоультрамафитовый тип формируется в гранит-зеленокаменных областях мезо- и неоархея. В формациях архейского возраста отмечается около 100 проявлений тальковых сланцев и талькового камня в Финляндии [30, 56]. Большинство из них приурочены к архейским зеленокаменным поясам и протерозойским сланцевым комплексам.

Тальк-магнезитовые породы прошли многостадийный путь формирования. Существенное значение в формировании значимых месторождений талька играли события свекофеннского этапа активизации на рубеже 1900–1700 млн лет, когда существовали благоприятные структурные условия и размеры тел для образования тальковой руды высокого качества. В настоящее время выявлена общая последовательность формирования пород: серпентинит – тальк-магнезитовая порода – тальковый сланец – скарн – кварцевая порода – черный сланец – слюдяной сланец [21].

Minerals Oy (Mondo) из Нидерландов, дочерняя компания Advent International в США, имеет два действующих карьера в Соткамо и Вуонас. Группа Tulikivi является мировым лидером по производству талькового камня, а также ведущим производителем теплосберегающих каминов. В таблице 4 приводится таблица сравнительных характеристик талька двух марок Minerals Oy (Mondo).

Таблица 4

Сравнительные характеристики талька марок FINN talc 15 и FINN talc 20

Показатели	Мюфилл 15	Мюфилл 20
Состав минеральных веществ		
Тальк	>96 % Не содержит в видимых соотношениях асбеста или кварца	96 % Не содержит в видимых соотношениях асбеста или кварца
Химический состав		
MgO	31 %	31 %
SiO ₂	59 %	59 %
Al ₂ O ₃	0.6 %	0.6 %
Fe	1.6 %	1.6 %
Fe, HCl-растворимый	0.2 %	0.2 %
CO ₂	<1 %	1 %
H ₂ O ⁺	4.8 %	4.8 %
pH	9	9
Химические свойства		
Потери при прокаливании	6,0 % (Сан-П 40:80)	6,0 % (ДИН 51 081)
Растворимость в воде	0,1 % (Сан-П 48:83)	0,1 % (ДИН 53 197)
Физические свойства		
Плотность	2800 кг/м ³	2800 кг/м ³ (ДИН 53 193)
Твердость (по Моосу)	1	1
Абразивность (Еинлехнер АТ 1000)	6 мг	
Белизна	86 % (Елрепо, ИСО), 457 нм	88 % (ДИН 53 163)
Абсорбция масла	45 г/100г (АСТМ Д 281–31)	45 г/100г (ДИН 53–199)
Восприимчивость к загрязнениям	1 %	
Удельная площадь		6 м ² /г (ДИН 66 132)
Влажность		<0,2 %
Проводимость		0.05 мСсм ⁻¹ (ДИН 53 208)

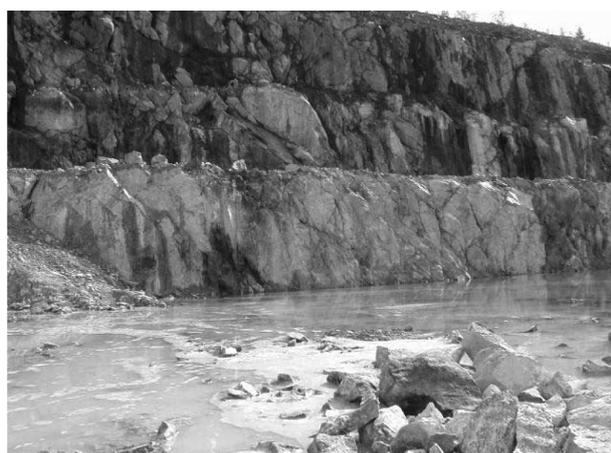


Рис. 15. Стенка карьера на месторождении талька Лахнаслампи (близ города Соткамо) (фото автора)

На Кольском полуострове имеется целый ряд месторождений магнезиальносиликатных пород, вполне отвечающих требованиям для получения на их основе огнеупорных, строительных

и технических материалов – оливиниты Ковдора и Хабозера, дуниты Сопчеозера и Падос-тундры [42, 45]. Потребность в магнезиальных огнеупорах, огнеупорной и химически стойкой керамике, строительных материалах на внутреннем рынке России достаточно велика.

В Карелии к наиболее изученным месторождениям и проявлениям талька первого типа относятся Светлоозерское, Рыбозерское и Игнойльское месторождения. Общими чертами всех этих месторождений являются интрузии серпентинизированных дунитов и гарцбургитов покровного типа, в которых обнаруживаются крутопадающие обогащенные тальком рудные тела мощностью до 200 м. Вмещающими породами в большинстве случаев выступают серпентиниты и хлоритовые сланцы. К настоящему времени выявлено около 20 проявлений и месторождений талькового камня в центральных районах Карелии и на территории административного подчинения г. Костомукша [56].

Серпентиниты Карелии как тип промышленной породы изучены достаточно слабо, но геологические данные позволяют говорить о широком распространении данных пород, что может быть предметом минералого-технологических исследований. На Аганозерском месторождении хромовых руд выявлены две разновидности серпентинитов: серпентиниты по высокожелезистым и по высокомагнезиальным дунитам. Мощность по разрезу 540 и 410 м, соответственно. Кемиститы и серпентиниты богаты магнием (36–38%) и содержат незначительное количество примесей Al_2O_3 (0.1–0.5%) и CaO (0.24–0.5%) [58].

Карбонатные породы

Выпуск продукции из карбонатных пород в значительной степени связан со строительной индустрией и, в первую очередь, с производством цемента. Важной областью стало производство наполнителей с использованием карбонатных пород, что связано с получением микронизированного кальцита для бумажных покрытий и наполнителей, осажденного кальциевого карбоната (PCC) для пигментов и целый ряд других направлений использования. В 1986 году компания Партек получила права на технологию осаждения кальциевого карбоната и создала в 1989 году первую в Европе фабрику на Тервакоски. В настоящее время это направление получило развитие в скандинавских странах.

В Норвегии разрабатывается два типа месторождений: известняки низкотемпературных условий и мраморы, образованные в условиях высоких температур. Известняк обычно используется для получения цемента, в сельском хозяйстве и для осажденного кальциевого продукта, мрамор используется в значительной степени в бумажной промышленности.

Потенциал высокочистых месторождений кальцита в Норвегии очень большой: в центральной части страны, Мэре и Ромсдал в южной части Нордланда и южнее Тромса на севере. Минеральное сырье представлено относительно чистыми каледонскими кальцитовыми мраморами серого цвета с белизной 83%, но в более белых по цвету разновидностях белизна составляет 90%.

Доломиты ряда месторождений используются для получения наполнителей, производства магния, в стекольном производстве, а также в качестве удобрения. Высокая степень белизны (95%) делает доломит привлекательным для применения в различных направлениях промышленных производств. Дополнительно

молотый и гранулированный доломит используется в сельском хозяйстве.

Скандинавские страны и Финляндия обладают большим потенциалом карбонатных пород [1]. В настоящее время добыча карбонатных пород проводится в 18 карьерах и трех подземных выработках. Здесь разрабатываются месторождения различных геологических природных технологических типов. Общий годовой показатель составляет 11.5 млн т. Все это включено в единую цепочку компании Nordkalk Corp. (Rettig Group, 100%)

Полевой шпат

Одним из примеров старых разработок является рудник Иттербю (Швеция). С 1756 г. здесь находился карьер, в котором шла добыча кварца, поставлявшегося на север провинции Уппланд для нужд металлургии, а с конца 18 века была начата еще и добыча полевого шпата для обеспечения потребности в этом сырье знаменитых шведских фарфоровых фабрик Рёрстранд (Rörstrands Porslinsfabrik) и Густавсберг (Gustavsberg). В период с 1865 г. и вплоть до закрытия месторождения в 1933 г. было добыто 45 тыс. т кварца и 50 тыс. т полевого шпата, при этом глубина разработки достигла 170 м.

В Финляндии полевой шпат добывается компанией SP Minerals Oyj (бывшая Партек Индастриал Минералс) из двух месторождений пегматоидных гранитов палеопротерозойского возраста. Главное месторождение Кемио расположено на юго-западном морском побережье (табл. 5).

В Карело-Кольском регионе благодаря усилиям профессора П. А. Борисова была создана минерально-сырьевая база керамической промышленности. С частной конторой Чупинских разработок (Чургорн) связано начало промышленной добычи мусковита и полевошпатового сырья на основе сырьевой базы керамического сырья [57]. Впоследствии был организован трест «Союзслюдкомбинат» и началась добыча керамического сырья на месторождениях им. Чкалова, Попов Наволок, 8 Марта, Черная Салма, Кривое озеро, Хетоламбина, Панфилова Варака и др. в количестве до 40–60 тыс. т в год [34]. Здесь в 1932 году впервые в СССР при разведке пегматитовых жил было применено колонковое бурение.

К традиционным источникам полевошпатового сырья в Карело-Кольском регионе относятся керамические пегматиты. Это кусковой полевой шпат и пегматит южной части Мурманской области [48] (месторождения Куру-Ваара, Риколатва, Отрадное и др.), Северной Карелии и Северного

Приладожья, а также нетрадиционные – граниты рапакиви (Салминский массив, Питкярантский район), кварцевые порфиры (месторождение Роза-Лампи (Беломорский район), геллефлинта (Костомукшское железорудное месторождение, территория административного подчинения г. Костомукша), нефелиновые сиениты и щелочные граниты (Елетьозерский массив, Лоухский район) и сиениты (Элисенваарская группа массивов, Лахденпохский район). Если говорить о нетра-

диционном полевошпатовом сырье для Карелии, то в мировой практике подобные породы используются на протяжении нескольких лет [41; 57]. Данные комплексы имеют ряд преимуществ по сравнению с пегматитами, одним из которых является расширение областей использования конечных продуктов полевошпатового состава. Из всех перечисленных объектов добычные работы проводятся на месторождении керамических пегматитов Куру-Ваара.

Таблица 5

Состав выпускаемой продукции на фабрике по обогащению кварц-полевошпатового сырья Кемно (Финляндия)

Содержание, %	Полевой шпат								Кварц
	На стекло			На керамику					
	28 М			200 М		300 М			200 М
	FFF K6 ²⁾	FFF K8 ¹⁾	FFP	FFF K6 ²⁾	FFF K7 ³⁾	FFP	FFF K7 ³⁾	ALAVUS	200 М
Химический состав									
SiO ₂	67.5	66.2	77.0	68.0	67.0	77.0	67.0	72.0	98.0
Al ₂ O ₃	18.4	19.3	13.0	18.5	18.8	13.0	18.8	15.6	0.8
K ₂ O	6.4	8.2	4.1	6.5	7.5	4.1	7.5	7.4	0.13
Na ₂ O	5.9	4.8	4.5	5.8	5.2	4.5	5.2	4.0	0.2
CaO	0.8	1.3	0.5	0.8	0.9	0.5	0.9	0.3	0.04
Fe ₂ O ₃	0.11	0.1	0.09	0.1	0.12	0.09	0.12	0.06	0.025
MgO	0.01	0.1	0.10	0.02	0.02	0.10	0.02	0.05	45 ppm
P ₂ O ₅	0.13	0.12	0.05	0.12	0.14	0.05	0.14	0.08	30 ppm
Rb ₂ O	0.06	0.07	0.03	0.06	0.07	0.03	0.07	0.03	0.01
L.O.I.	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1
K ₂ O/Na ₂ O	1.1	1.7	0.9	1.1	1.4	0.9	1.4	1.9	
Физические свойства									
Удельный вес (г/см ³)	2.59	2.59	2.61	2.59	2.59	2.61	2.59	2.61	2.64
pH	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.8	5.8
Объемный вес (т/м ³)	1.4	1.4	1.4	1.0	1.0	1.4	1.0	1.0	1.0
Спек				белый	белый		белый	белый	
Минеральный состав, %									
Микроклин	37	48	25	37	44	25	44	43	
Плагиоклаз	51	41	39	51	45	39	45	34	4
Анортит	4	6	2	4	4	2	4	1	
Кварц	8	5	34	8	7	34	7	22	96

Примечание: Подчеркнутые значения регулярно анализируются количественным анализом, SiO₂ и Na₂O – подсчитанные значения. Данные по состоянию на 2001 г.

Нефелиновые сиениты месторождения Стьерноу

Горно-обогащительный комплекс по добыче и обогащению нефелиновых сиенитов месторождения Stjerneou (Стьерноу) расположен в северной части Норвегии. Нефелиновый сиенит имеет стабильный химический состав, сравнимый с составом полевых шпатов из пегматитов.

Нефелиновые сиениты Стьерноу залегают в центре щелочной магматической серии про-

винции Сейланд Каледонской горной цепочки. Серия состоит из габброидных плутонов, щелочных интрузий, ультрамафических комплексов, щелочных пород, карбонатитов и роев мафических даек.

В пространстве линза нефелиновых сиенитов имеет длину 1700 м с максимальной мощностью 300 м, глубина примерно 500 м, а запасы составляют около 300 млн т. Порода (нефелиновый сиенит) состоит из пертитового

калиевого полевого шпата с небольшим количеством пластинчатого альбита – 56 %, нефелина – 34 %. Последний явно наложенный, часто образует жилки. Главные компоненты нефелинового сиенита – полевой шпат и нефелин, которые находятся в пропорции 2:1. К второстепенным минералам относятся кальцит, клинопироксен, роговая обманка, биотит, титанит и магнетит.

Руда взрывается в подземной выработке, и извлекается крупными блоками (кусками). Для бурения, взрывных работ, погрузки и транспортировки используется современное оборудование. Исходная руда проходит серию операций по дроблению, сушке, просеиванию до максимального размера зерен 0.5 мм. Затем она последовательно подвергается обогащению.

Первая стадия проходит в сепараторах низкой магнитной интенсивности для отделения высоко магнитных минералов. В последующие стадии постепенно увеличиваются поля электромагнитной напряженности для того, чтобы слабомагнитные минералы извлекались. В технологическом процессе важным является то, что осуществляется 10 пересортичных операций до получения конечного концентрата с содержанием Fe_2O_3 до 0.10%, который классифицируется на два сорта – керамический и стекольный (табл. 6).

Для нефелинового концентрата характерно относительно раннее спекание с кварцем, лучшее качество, гомогенность и устойчивость условий, при которых проходят технологические процессы. Сокращается покупка более дорогого минерального сырья.

Таблица 6

Химический состав разновидностей готовой продукции из нефелиновых сиенитов (данные North Cape Minerals AS, 2000 г.)

Химические соединения и элементы	Состав разновидностей готовой продукции, %		
	Стекло	Керамика	Амбер
SiO ₂	57	57	56.5
Al ₂ O ₃	23.8	23.8	22.5
Fe ₂ O ₃	0.1	0.12	0.4
Ti O ₂	0.1		
CaO	1.3	1.1	2.5
Na ₂ O	7.9	7.8	7.5
K ₂ O	9.0	9.1	8.2
BaO	0.3	0.3	
SrO	0.3	0.3	
P ₂ O ₅	0.1		
F	<40 ppm	<40 ppm	<40 ppm
Cl (растворимый в воде)	<0.15 ppm	<18 ppm	
Cl (общий)	<100 ppm	<75 ppm	<100ppm
ппп	1.2		

В настоящее время владельцем предприятия является Sibelco Nordic Mine с годовой производительностью в 350 тыс. т. Это единственный производитель нефелинового сиенита в Норвегии и один из самых крупных производителей этой продукции в мире. Рудник Стьерноу содержит запасы более чем на 200 лет производства, ориентируясь на текущую производительность.

Волластонит

Партек Индастриал Минералс обладает карьером, где имеется волластонит, образованный в сильно метаморфизованных кальцитовых мраморах на Ихалайнен (юго-восточная Финляндия).

Состав волластонита по разновидностям приведен в таблице 7. Волластонитовый концентрат получается методами флотации и электромагнитной сепарации вместе с переработкой кальцитовых пород, из которых производят микронизированный кальцит для пигментов покрытия.

В течение 1990-х ежегодно выпускалось 27–29 тыс. т волластонита, из которых две трети экспортировалось. Волластонит, главным образом, используется в керамической промышленности, а также как металлургический порошок, наполнитель в красках, резине и пластиках.

Таблица 7

Химический состав волластонита месторождения Ихалайнен, мас. % [24]

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ппп	сумма
1	51.55	0.02	0.08	0.63	–	0.02	0.10	47.13	0.16	0.05	0.42	100.20
2	52.06	0.01	0.51	0.05	–	–	0.60	40.49	0.05	0.05	6.16	99.97

Кварц

Кварц высокой чистоты (HPQ), содержащий SiO₂ более 99.997%, применяется в производстве высокочистых наполнителей, металлического кремния, солнечных батарей и полупроводников и др. [7]. Основные области применения

кварца и продуктов его технологического передела приведены на рисунке 16. В настоящее время увеличиваются потребности различных отраслей промышленности («оборонной» и «гражданской» ориентации) в изделиях из этого сырья.

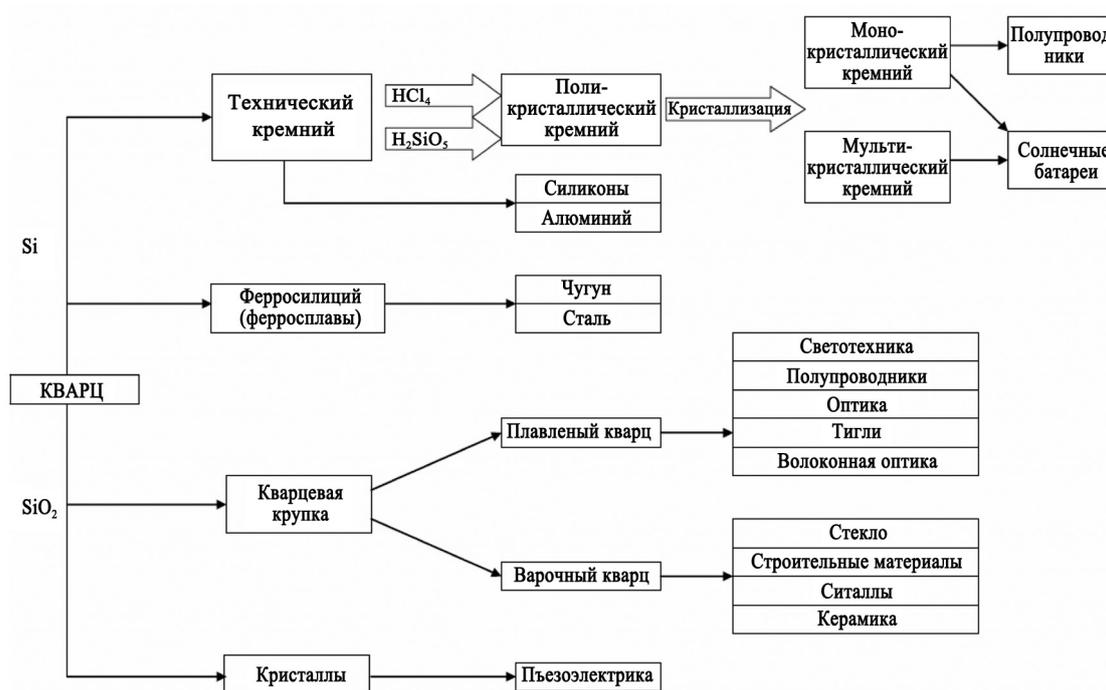


Рис. 16. Схема применения кварца и продуктов его технологического передела в промышленности

Проведенный анализ показал, что современную ситуацию на рынке высокочистого кварца (ВЧК) можно охарактеризовать как практически монополизированную компанией Unimin – ее доля составляет 80%. Вторым по значимости игроком на данном рынке является норвежско-американская корпорация The Quartz Corp. Norway-USA – 8%. Определенную роль в конкуренции производства ВЧК играют такие страны как Бразилия и Мадагаскар, поставляющие на рынок природный чистый кусковой кварц. В конце 2011 г. норвежская компания NS и американская Imegus (владеет кварцевым месторождением в Северной Каролине) объединились в кварцевую корпорацию (TQC). Консолидация активов американских и норвежских производителей приведет к еще боль-

шей монополизации рынка ВЧК. Китайские и российские производители выпускают соответственно 7% и 5%.

На территории Карело-Кольского региона в результате поисково-оценочных работ, проводившихся Институтом геологии КарНЦ РАН в предыдущие годы, выявлены новые кварценозные проявления, в том числе кварцевые жилы с гранулированным кварцем, сливные кварциты, были выделены перспективные зоны, районы, узлы (рис. 17). Проводившиеся работы по оценке кварцевого сырья были направлены на выявление геологических, минералого-петрографических особенностей кварцевых пород, а также проводилось предварительное и глубокое обогащение кварцевого сырья с получением кварцевых концентратов и оценкой их качества.

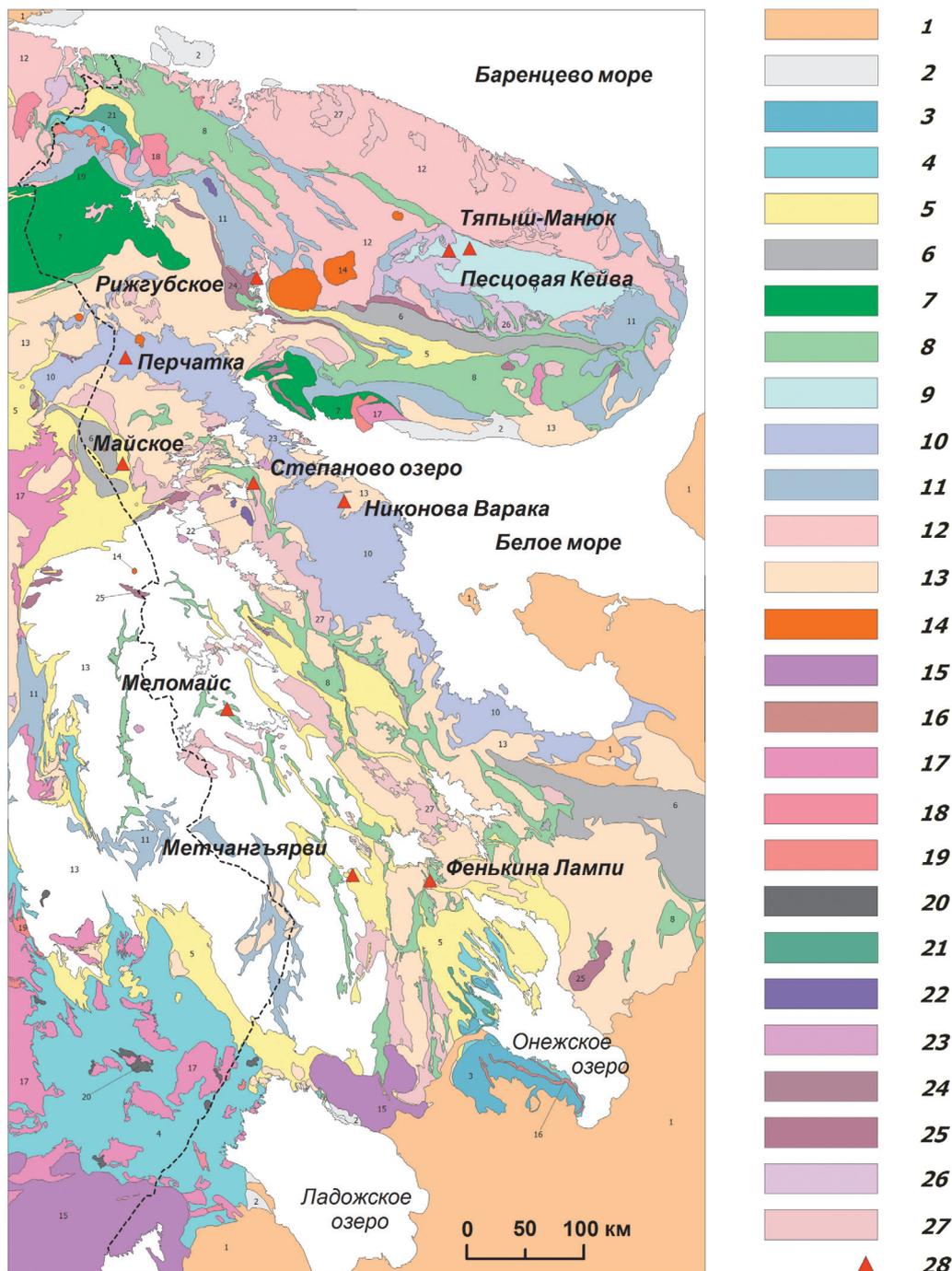


Рис. 17. Карта размещения перспективных проявлений промышленного кварца Карело-Кольского региона. Составители В. В. Щипцов и Н. И. Щипцова, 2013. Использованы: Геологическая карта Кольского региона (редактор Ф. П. Митрофанов, Апатиты, 2001), Geological Map of the Fennoscandian Shield 1:2000000 GSF, GSN<GSS and SC Mineral, 2008

1 – объединенный венд и палеозой; 2 – рифей; 3 – вепись; 4 – калевий; 5 – ятулий-сарнолий нерасчлененные; 6 – сумий и сариолий нерасчлененные; 7 – Лапландская гранулитовая провинция; 8 – фрагменты разновозрастных зеленокаменных поясов; 9 – Кейвская провинция; 10 – Беломорская провинция; 11 – нестратифицированный кольско-беломорский комплекс; 12 – ТТГ кольский комплекс (архейский фундамент); 13 – ТТГ карельский комплекс (архейский фундамент); 14 – палеозойские щелочные интрузии; 15 – анортозит-рапакиви (1.7–1.5 млрд лет); 16 – габбродолериты (1.76 млрд лет); 17 – позднеорогенные граниты (1.84–1.81 млрд лет); 18 – граниты, гранодиориты, кварцевые монзониты и др. (1.96–1.84 млрд лет); 19 – граниты (1.95–1.91 млрд лет); 20 – перидотиты, пироксениты, габбро (1.96–1.91 млрд лет); 21 – толеитовые базальты, перидотиты, габбро, верлиты (1.97 млрд лет); 22 – щелочно-габбровые расслоенные интрузии с карбонатами (2.0–1.8 млрд лет); 23 – чарнокиты, гранодиориты, монзониты (2.4 млрд лет); 24 – анортозиты, габбро (2.5 млрд лет); 25 – расслоенные интрузивы основных и ультраосновных пород (2.5–2.4 млрд лет); 26 – граниты, гранодиориты, щелочные граниты, щелочные сиениты (2.6–2.5 млрд лет); 27 – граниты (2.7–2.85 млрд лет); 28 – крупные перспективные проявления кварца

В последние годы в теории и практике обогащения руд широкое развитие получили работы по *энергетическому воздействию* на минералы с целью направленного изменения их свойств. Обширный фактический материал по использованию методов направленного воздействия на минералы с целью изменения их свойств убедительно показывает эффективность этого направления. Целесообразность и перспективность данного направления для интенсификации и повышения эффективности процессов рудоподготовки и обогащения детально изучена на примере кварца различных генетических типов, как в России, так и за рубежом. Уникальные технологические разработки сотрудников ИГ КарНЦ РАН, ориентированные на обогащение природного кварцевого сырья и оценку его качества запатентованы и внесены в государственный реестр РФ [46, 47].

Анализ полученных на стадии поисков результатов геолого-технологического изучения нетрадиционных источников кварцевого сырья Карело-Кольского региона позволил выделить наиболее перспективные объекты.

В восточной Финляндии известны два кварцитовых месторождения – Кинахми и Вяртсила. Помимо главного минерала – кварца с содержанием 92–98%, в кварцитах присутствует серицит (2–8%) и каолинит, в качестве аксессуарных отмечены кианит, турмалин, роговая обманка, гематит, рутил, циркон, плагиоклаз, микроклин, силлиманит, апатит, лазулит, пирофиллит, ксенотим, анатаз, актинолит, клинопироксен, гиперстен, гранат, сфен, ильменит, гетит и алунит. Их суммарное содержание не превышает 1%. В настоящее время разрабатывается месторождение Кинахми. Оно представлено мягкими и очень светлыми ортокварцитами палеопротерозоя. Структурно кварциты подразделены на три группы: мягкие, средне-твердые и твердые. Для первых двух групп характерны размеры зерен кварца 0.03–2 мм, размеры отдельных зерен достигают 5 мм. В твердых кварцитах зерна кварца более крупные. Качество мягких кварцитов почти всегда супервысокое. Обоганительная фабрика построена в 1976 году в Нильсия.

NFQ Nilsia Flotation Quartz – это торговая марка, производимого кварца из кварцитов Кинахми. Руда дробится, измельчается, гидроклассифицируется. Включения, подобные серициту и железосодержащим силикатам удаляются путем флотации. После флотации продукт очищается

от технологического железа в слабо магнитных сепараторах, а также извлекаются промывкой растворимые соли и химикаты. Титанистая примесь в кварцитах может регулироваться путем селективной горной добычи и уменьшаться при применении особых технологий очистки, чтобы достичь уровня низко титанистого кварцевого продукта. Трешиноватые формы частиц улучшают свойства растворимости ненужных примесей при мокром процессе и высоких температурах. Технология обогащения включает классификацию по 4 классам; мелкие фракции 0.6–0.2 и 0.2–0.03 мм обогащаются флотацией, удаляется серицит и акцессории после предварительной магнитной сепарации. Крупные фракции (более 0.6 мм) не обогащаются.

Месторождения-аналоги высококремнистых кварцитов в Карело-Кольском регионе (Метчангъярви, Рижгубское и др.) изучены на геологическом и минералого-технологическом уровне.

Мусковитовое сырье

Мусковит, как источник сырья для различных отраслей промышленности традиционно делился на листовую и мелкогабаритный (пластины площадью мене 4 см²). В Институте геологии КарНЦ РАН разработаны новые технологические решения по вовлечению промышленных отвалов мусковитовой добычи, наработанных в производство ГОКом «Карелслюда» на протяжении многолетней эксплуатации – это отвалы бывших слюдяных рудников «Малиновая Варакка», «Плотина», «Тэдино» и др. Оцененные запасы мусковита в отвалах составляют более 150 тыс. тонн.

В 1999 г. в Лоухском районе было выявлено перспективное проявление маложелезистого мелкочешуйчатого мусковита в кварцитах «Межозерное» [41]. Руды этого объекта, благодаря низкому содержанию примеси железа и высоким технологическим характеристикам мусковита, стали привлекательным для инвесторов объектом, отнесенных к новому типу высококачественных промышленных минералов.

Флюорит

В настоящее время флюорит входит в группу критических минералов ЕС [33]. Примерно 40% мирового годового производства флюорита используется для получения HF, которая является предшественником почти всех других фторсодержащих веществ. Половина из них

используется в качестве хладагента и газов для кондиционирования воздуха, другие виды – это вспенивающие агенты, пропелленты, растворители широкого спектра. Часть рынка хладагентов переходит на нефторированные альтернативы, влияя на потребление флюорита в этом секторе. В 2012 году выручка от фторполимерной промышленности оценивалась в 5.8 млрд USD [26]. В металлургии флюорит используется для разжижения шлаков (флюсы), понижения температуры плавления металлов, в производстве электролитического алюминия; в керамике – для изготовления эмалей и глазурей. Прозрачные бесцветные разновидности кристаллов флюорита применяются в оптике, а кристаллы флюорита с примесями РЗЭ могут быть применены в квантовых генераторах света. Европа относится к числу главных импортеров флюорита.

Фенноскандинавский щит в минерагеническом отношении представляет собой потенциальную территорию на флюорит [26]. Наиболее интересными и многообещающими представляются проекты на флюорит, осуществляемые на европейском континенте в Норвегии и Швеции британской компанией Tertiary Minerals Plc. В частности, в Швеции ресурсы месторождения Storuman оценены по классификации JORC и составляют 27.8 млн т при среднем содержании флюорита 10.21%. Владельцем лицензионной площади является британская компания Tertiary Minerals Plc. Другой объект находится в Норвегии. Это сеть жил на месторождении Lassedalen с ресурсами 4 млн т при среднем содержании флюорита 29.0%.

На территории Республики Карелия отмечены проявления флюорита скарного, грейзенового, полиформационного, собственно гидротермального и гидротермально-метасоматического генезиса (кварц-флюоритовая формация). Рудный район Северного Приладожья имеет определенные перспективы, что связывается с Салминским массивом габбро-анортозит-рапакивигранитной формации (около 1550 млн лет), а именно, Салминско-Уксинско-Кительской рудной зоной оловянно-полиметаллического и редкометалльно-флюоритового оруденения [52].

Графит

Схема размещения основных графитовых месторождений Норвегии, Финляндии и Швеции приведена на рисунке 18. В Норвегии выделены четыре основные графитовые провинции – Senja,

Lofoten-Vesteralen, Hollandsfjord и Bamble [9]. В настоящее время в течение нескольких лет интенсивно проводятся геолокационные исследования с помощью EM, RAD и MAG по всем потенциальным графитовым провинциям страны.

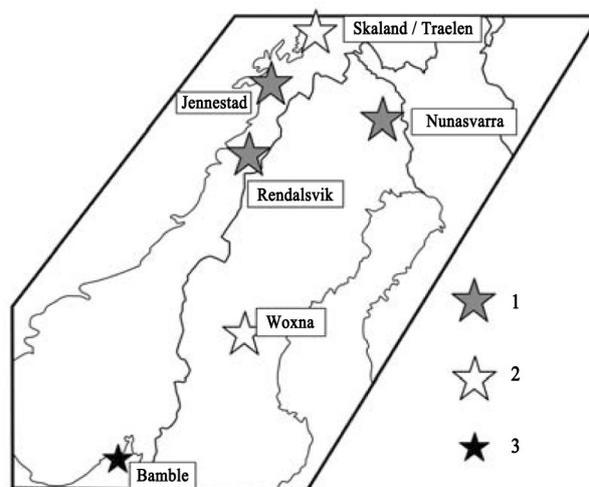


Рис. 18. Схема размещения главных графитовых месторождений Норвегии, Финляндии и Швеции (с использованием материалов [9])

На норвежском острове Сенья располагается шахтный графитовый рудник Skaland, крупнейший производитель природного графита в Европе. Здесь добывают графит с 1932 года. Skaland Graphite AS (LNS Group) производит графит высокого качества из высокометаморфизованных докембрийских графитовых сланцев. Графитсодержащие сланцы протягиваются на 600 м, площадь распространения имеет ширину 450 м. Руды слагают 8–10 субвертикальных пластиноподобных линз или “жил”. Линзы достигают длины 200 м мощностью 5–7 м, располагаются параллельно меридиональной сланцеватости с крутым падением на юг. Сланцы с грубочешуйчатым графитом содержат 16–36% углерода при среднем содержании 26%. Запасы составляют 480 000 т графитовой руды с содержанием 30% углерода. Готовый продукт обычно поставляется покупателям металлургической промышленности. Главная характеристика качества следующая: чешуйки >160 м, 90–95% углерода; порошок <100 м, 85–90% углерода.

На Лофотенско-Вестераленском архипелаге с помощью бортовой геофизики выявлен ряд аномалий ЭМ, которые были признаны новыми неизвестными графитовыми перспективами. В области Hollandsfjord, где находится заброшенный рудник Рендалсвик, также исследованы площади с помощью картографирования,

наземной и аэрогеофизики. На юге Норвегии (Bamble) имеются участки с супракрустальными породами с содержанием графита 2–6%.

Все норвежские графитовые проявления представляют собой образования с чешуйчатым графитом и встречаются в протерозойских супракрустальных породах, метаморфизованных в условиях высокой степени амфиболитовой или гранулитовой фаций. В ряде случаев зафиксировано высокое (>15%) содержание графитового углерода.

В Швеции разведка в районе рудника Крингель началась в 1980-х годах (рис. 19). В 1992 году Bergsstaten Anglo Grafite AB получила лицензию на добычу графитовой руды, которая проходила с 1996 по 2001 год. Вмещающими породами для графитовых руд месторождения Крингелграван являются метатиффиты с широким простираем и падением на юг под углом 50–55°. Имелось 6 рудных тел в этом рудном районе. Руда в среднем содержала 11.6% графита. Бурение осуществлялось до глубины 80 м, запасы руды составляли 1.6 млн т крупночешуйчатого графита и 2.9 млн т тонкого и среднечешуйчатого графита. Предполагается, рудное тело залегает, по крайней мере, до глубины 500 м. В течение 1998 года компания увеличила выпуск продукции от 2500 т ежегодно до 12 000 т графита. В общей сложности добыто 254 000 т руды. Затем предприятие было продано в 2002 году и в 2011 году рудник был приобретен канадской компанией Flinders Resources (группа Tricon Mineral). С этим событием связано открытие фабрики Woxna (Woxna Graphite project) в центральной Швеции.



Рис. 19. Графитовый рудник Крингель, Швеция (материалы GSS)

С июля 2014 года использовалась хранившаяся руда от предыдущей добычи, а в течение 2015 года до июля 2015 года добыча осуществ-

лялась в новом карьере. Операции проходили с различной интенсивностью из-за низких цен. В настоящее время канадская компания Leading Edge Materials Corp. является владельцем лицензии, деятельность возобновлена.

В Карело-Кольском регионе известно несколько проявлений графитовых руд [55]. Скопления графитовых проявлений обнаружены в двух структурных зонах – Ладужской подвижной зоне и Северо-Карельской структуре. При этом в первой упомянутой зоне открыто более 30 проявлений различных типов графита, но практически все они имеют небольшие размеры. Выделены два типа промышленных графитовых руд: 1 тип – легкообогатимые руды явнокристаллического крупно-среднечешуйчатого графита; 2 тип – труднообогатимые руды скрытокристаллического (аморфного) графита.

Ихальское месторождение графита в Карелии приурочено к образованиям углеродистой сланцево-карбонат-толеито-базальтовой геологической формации раннего людиковия питкьярантской свиты сортавальской серии. Продуктивной является толща графитсодержащих кварц-биотитовых сланцев питкьярантской свиты, в составе которой в пределах Ихальского рудного поля выявлены сравнительно выдержанные по простираем рудные залежи. Основная рудная залежь Ихальского месторождения представляет собой крутопадающее пластообразное тело, сложенное, главным образом, графитсодержащими биотитовыми сланцами и мигматитами по ним, вытянутое в субмеридиональном направлении, выклинивающееся на севере и на юге. Длина залежи по простираем составляет 1700 м, мощность достигает 450 м. По падению залежь прослежена до глубины около 100 м и не имеет признаков разубоживания [40].

На участке Ихальского месторождения на поисково-оценочной стадии оценены запасы C_2 и прогнозны ресурсы P_1 . Запасы определены в трех подсчетных блоках в количестве 81.4 млн т руды до глубины 120 м при среднем содержании углерода 3.01% (бортовое содержание графитного углерода 2%). Прогнозные ресурсы категории P оценены в 124 млн т до глубины 170 м при среднем содержании углерода 3.07%. Начатые работы по разведке в 2019 году приостановлены.

На Кольском полуострове представляют интерес месторождения крупночешуйчатого графита «Гора Скалистая» и Пестпакша.

Шунгиты

Шунгитовые породы – древние углеродсодержащие породы Карелии с возрастом порядка 2 млрд лет, не имеющие аналогов в геологической истории нашей Земли по форме проявлений и гигантским промышленным запасам. Они широко распространены в Заонежье. Прогнозные ресурсы более 4 млрд т углерода. Особый приоритет имеет Зажогинское рудное поле площадью 240 км² с двумя действующими карьерами (рис. 20). В чем

заключается уникальность этих пород? Они трактуются как природные углерод-минеральные композиты, содержащие шунгитовое вещество и широкий спектр микро- и наноминералов, образованных в палеопротерозое. Шунгитовое вещество представляет собой неграфитируемый фуллереноподобный углерод со структурой, подобной структуре стеклокристаллических материалов где высокодисперсные кристаллы распределены в некристаллической матрице [39].

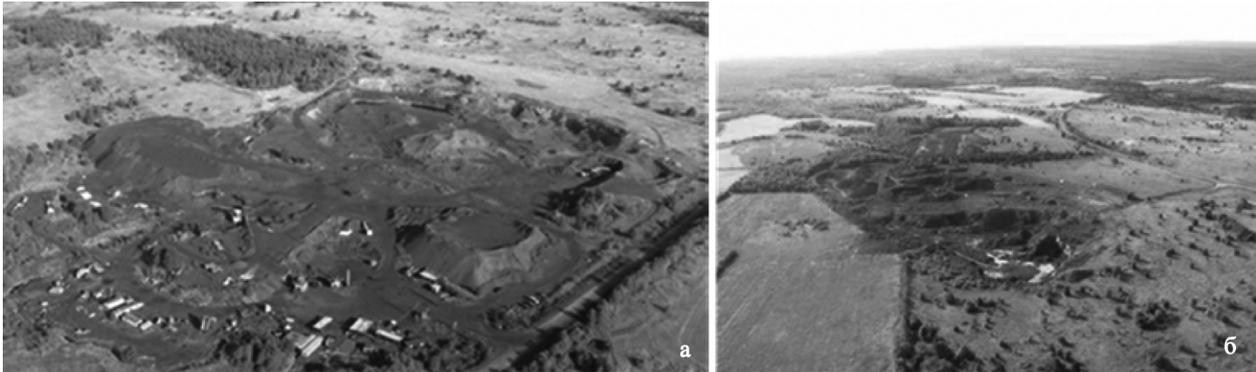


Рис. 20. Действующие карьеры Зажогинского рудного поля: а – Зажогинский, б – Максковский

К настоящему времени показано, что шунгитовые породы, как нерудное полезное ископаемое, могут быть использованы в производстве ферросплавов, футеровки алюминиевых электролизеров и в литейных технологиях, а также являются эффективными адсорбентами для процессов водоподготовки, способными поглощать фенолы, гумины и нефтепродукты; материалы на их основе проявляют высокую каталитическую активность в процессах органического синтеза циклических углеводородов, разложения перекиси водорода, что важно для создания экологически чистых химических производств. Большой практический выход связан с их использованием в качестве активного наполнителя широкого класса композиционных материалов для придания им новых качеств: повышенной износостойкости, химической стойкости и электропроводности. Кроме того, были выявлены радиоэкранирующие свойства шунгитовых пород, что инициировало разработку технологии получения конструктивных материалов, обеспечивающих защиту.

Основные перспективы практического использования ценного сырья связаны с решением экологических проблем. Радиоэкранирующие материалы из него находят применение в здравоохранении. В Военно-медицинской академии (Санкт-Петербург), где построены две палаты для шунгитовой терапии, проходили лечение ликви-

даторы аварии на Чернобыльской АЭС, работники атомных станций и нефтеперерабатывающих заводов, больные с сердечно-сосудистой патологией. Адаптационный эффект электромагнитной депривации (изоляции) пациентов в шунгитовой палате проявляется в значительном сокращении сроков реабилитации после отравлений и острых заболеваний. Экранирование от электромагнитного смога активирует систему иммунной защиты. Такие лечебные комнаты построены в санаториях Петрозаводска, Пятигорска, Сочи, Нижнего Новгорода и других городах.

Шунгит, способный глубоко чистить воду от различных органических и некоторых неорганических веществ, активно внедряют в процесс подготовки питьевой воды. В г. Пушкино (Московская область) на этом материале работают фильтры городского водозабора. Широко используют его в бытовых приборах, фильтрах по очистке сточных вод от нефтепродуктов, в сельском хозяйстве как удобрение, повышающее урожайность и стойкость культур к заболеваниям. В последние годы пристальное внимание уделяется проблеме использования шунгитовых пород в качестве кормовых добавок в рационы птицы и животных [49]. В частности, включение шунгита в рацион кур-несушек способствует повышению яичной продуктивности, увеличению массы яиц

и толщины скорлупы, без отрицательного влияния на морфологические и биохимические показатели крови. Более того, выявлена способность шунгита компенсировать влияние некачественных, зараженных микотоксинами кормов за счет сорбции из них ряда токсинов, уменьшения фона плесневых грибов и условно-патогенных микроорганизмов, что в конечном итоге, способствует повышению сохранности животных и птицы, а также улучшению их продуктивных качеств [49].

Опыт широкого практического использования шунгитовых пород показывает деление на промышленные типы явно недостаточно. В частности, установлено, что шунгитовые породы ведут себя по-разному в металлургии, химической промышленности, строительстве, и пр., в зависимости не только от химического состава, но также структуры пород и углерода, что требует их разделения на подтипы или сорта.

В связи с этим возникает задача геолого-поисковых работ на шунгитовые породы – геолого-технологическое разделение шунгитовых пород на промышленные типы, связанная с выявлением характерных геологических критериев образования шунгитовых пород, в том числе, роли магматизма, при всестороннем анализе ядерного материала с применением современных методов исследования. В частности, с определением типа породы (массивная, брекчированная, и пр.), ее минералогического состава и строения (содержание углерода и порообразующих минералов, их размеры и распределение), а также, элементного состава породы и структурно-вещественных особенностей углеродистого вещества (шунгита) [38].

В целом, современный этап изучения шунгитовых пород Карелии и выявление перспектив их индустриального использования предполагается направить не столько на оценку запасов потенциальных месторождений и определение петрографических и структурно-химических особенностей шунгитовых пород, а скорее на выявление критериев и рекомендаций по использованию пород потенциальных месторождений в конкретных инновационных и наукоемких направлениях [18].

Проведенные геолого-поисковые работы на промышленные типы шунгитовых пород позволят создать классификацию геолого-промышленных типов шунгитовых пород, определить наиболее перспективные участки залегания шунгитовых пород под конкретные направления его использования. По сути, осуществление планируемых работ приведет к эффективному вложению затраченных средств в стоимость будущих месторождений и развитию инновационных подходов в использовании уникального углеродсодержащего сырья России.

Выводы

В статье с различной степенью оценки рассматриваются месторождения и крупные проявления промышленных минералов Фенноскандинавского щита. Конечно, нельзя сбрасывать со счетов крупнейшие в мире месторождения флогопита и вермикулита (Ковдорский массив), РЗЭ (Аллуйв, Ковдор, Сахарйок и др.), месторождения гранатовых руд (Большие Кейвы, Высота-181 и др.), каолины (Виртасалми), барита (Салланлатва) и др.

Существует перспектива для многих критических и потенциальных ресурсов промышленных минералов, однако:

- необходимы точнейшие данные по месторождениям, включая информацию о следовых содержаниях;
- доминирование рыночных предпочтений играет против стратегических интересов, особенно, когда одна страна или компания превалирует в мировом производстве;
- технологии и рынки чрезвычайно тесно связаны и изменяются для поиска и использования подходящих месторождений;
- стратегия и планирование в промышленных областях, технологиях обогащения и горном деле должны двигаться вместе;
- полезное ископаемое будет доступно, если решены вопросы геологии, горного дела, технологии передела, экономики и экологии.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института геологии КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahtola T., Gautneb H., Halberg A., Philippov N., Shchiptsov V., Voytekhovskiy Yu. Industrial minerals deposits of the Fennoscandian shield (the FODD project) // Материалы межд. научн. – практич. конференции:

Промышленные минералы: проблемы прогноза, поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений. Казань: ЗАО «Изд.дом «Казанская недвижимость», 2015. С. 3–6.

2. Boström R. Litium: esiintymät, tuotanto ja markkinat // Suomen teollisuusmineraalit ja teollisuuskivet. Toim. I. Haapala. Yliopistopaino, Helsinki, 1988. P. 133–143.
3. Cordellier F., Bouldier F., Boullier A. M. Structural study of the peridotite Almklovdalen massif (Southern Norway) // *Tectonophysics*, 1981. 77. P. 257–281.
4. Corfu F., Bayanova T. B., Shchiptsov V. V., Frantz N. U-Pb ID-TIMS age of the Tikshezero carbonatite: expression of 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia // *Cent. Eur. J. Geosci.* 3 (3). 2011. P. 302–308.
5. Diota H, Bolleb O., Lambert J. M., Launeau P., Duchesne J. – C. The Tellnes ilmenite deposit (Rogaland, South Norway): magnetic and petrofabric evidence for emplacement of a Ti-enriched noritic crystal mush in a fracture zone // *Journal of Structural Geology*, 2003. V. 25. P. 481–501.
6. Duchesne J. C. Fe-Ti deposits in Rogaland anorthosites (South Norway): geochemical characteristics and problems of interpretation // *Mineralium Deposita*, 1999. 34. P. 182–198.
7. Flook R. Silica & High purity quartz // *Industrial Minerals*, 2013. December. 2013. P. 25.
8. Gautneb H., Ahtola T., Berman T., Gonzales J., Halberg A., Litvinenko V., Shchiptsov V., Voytek-hovsky Y. Industrial minerals deposits map of the Fennoscandian shield // *Proceedings of the 12-th Biennial Meeting «Mineral deposit research for the high-tech world*. Uppsala. Print: Elanders Sverige AB, vol. 4, 2013. P. 1767–1769.
9. Gautneb H., Wanvik J. E., Rodionov A., Ofstad F., Stampolidis A., Tassis G. Graphite deposits in Norway: review // *32nd Nordic Winter Geological Meeting*, Helsinki, 2016.
10. Gavrilenko B. V., Zozulya D. R., Chickirov I. V. Diamond potential of Kola region // *Industrial minerals: deposits & new developments in Fennoscandia*. Proceedings of the International Conference. Petrozavodsk: IG KarRC RAS, 1999. P. 33–35.
11. Goldschmidt V. M. The Principles of Distribution of Chemical Elements in Minerals and Rocks. The Seventh Hugo Müller Lecture delivered before the Chemical Society on March 17th, 1937 // *Journal of the Chemical Society*, (2) 1937. P. 655–673.
12. Graesberg M. Swedish Kyanite a new source of alumina for refractories and ceramics // *71st Industrial Minerals» International Congress*. Monte Carlo, 1986. P. 77–86
13. Harben P., Bates R. *Industrial Minerals (geology and world deposits)*. – London: Industrial Minerals Division, Metal Bulletin Plc, 1990. 243 p.
14. Karlsen T. A. *Nordic Minerals Review*. Norway // *Industrial Minerals*, 1998. № 374. P. 67–77.
15. Korneliussen A. & Foslie G. Rutile-bearing eclogites in the Sunnfjord region of Western Norway. // *Norges geol. unders. Bull*, 1985. № 402. P. 65–71.
16. Korneliussen A., Amcenroe S., Nilsson L. P., Schiellerup H., Gautneb H., Meyer G., Sstørseth L. An overview of titanium deposits in Norway // *Norges geol. unders. Bull.*, 2000. № 436, 27 p.
17. Korneliussen A. Rutile associated with eclogites in Western Norway and scapolitized gabbros in Southern Norway // *Norges geol. unders. Bull.*, 1995. № 427. P. 12–115.
18. Kovalevsky V., Shchiptsov V. Shungites and their industrial potential // S. Glagolev (ed.): *ICAM 2019. SPEES*, 2019. P. 201–204.
19. Kramm U., Kogarko L. N. Nd and Sr isotope signatures of the Khibina and Lovozero agpaitic centers, Kola Alkaline Province, Russia // *Lithos*, 1994. V.32. P. 33–44.
20. Kramm U., Kogarko L. N., Kononova V. A., Vartiainen H. The Kola Alkaline Province of the CIS and Finland: Precise Rb-Sr ages define 380–360 age range for all magmatism // *Lithos*, 1991. V. 30. P. 33–44.
21. Kuronen E., Tuokko I. Horsmanaho talc deposit // *Mineral deposits; research and exploration, where do they meet?*. Proc. Fourth Biennial SGA Meeting, Turku, Finland. Excursion guidebook. Geological Survey of Finland. Guide 42, 1997. P. 39–42.
22. Lehtonen M., O'Brien H. Mantle transect of the Karelian Craton from margin to core based on P-T data from garnet and clinopyroxene xenocrysts in kimberlites // *Bulletin of the Geological Society of Finland*. V. 81, 2009. P. 79–102.
23. Lindahl, I & Nilsson, L. P. Geology of the soapstone deposits of the Linnajavri area, Hamarøy, Nordland, north Norwegian Caledonides –Norway's largest reserves of soapstone // In Slagstad, T. (ed.) *Geology for Society*, Geological Survey of Norway Special Publication, 2008. V.11. P. 19–35.
24. Lundén E. Wollastoniitti. // *Suomen teollisuusmineraalit ja teollisuuskivet*. / Toim. I. Haapala. Yliopistopaino, Helsinki. 1988. P. 61–65.
25. Malvik, T. & Moen, K. Industrial mineral producers in Norway. 33 IGC excursion No. 37, August 01–05, 2008.
26. Mchae M. T. Fluorspar. 2015 Minerals Yearbook. US Department of the Interior, USGS. May 2017. 26 p.
27. O'Brien H., Heilimo E., Heimo P. Archean Siilinjärvi Carbonatite Complex // In book: *Mineral deposits in Finland*. Publisher: Elsevier, 2015. P. 327–343.
28. Puustinen K. Geology of the Siilinjärvi carbonatite complex, Eastern Finland // *Bull. Comm. Géol. Finlande*, 1971. № 249. 43 p.
29. Vartiainen H. Soklin karbonaattikompleksin fosforiitti // *Suomen teollisuusmineraalit ja teollisuuskivet* / Toim. I. Haapala. Yliopistopaino, Helsinki, 1988. P. 49–55.
30. Vesasalo A. Talc schists and soapstone occurrences of Finland // *Bull. Comm. Geol. Finlande.*, 1965. № 265. 75 p.
31. Арзамасцев А. А., Арзамасцева Л. В., Беляцкий Б. В. Щелочной вулканизм инициального этапа палеозойской тектоно-магматической активизации северо-востока Фенноскандии: геохимические особенности и петрологические следствия // *Петрология*, 1998. Т. 6, № 3. С. 316–336.
32. Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 136 с.

33. Бойд Р. Потенциал ресурсов критических минералов Европейского Союза // Промышленные минералы: проблемы прогноза, поиски, оценки и инновационные технологии освоения месторождений: материалы Международной научно-практической конференции. – Казань: ЗАО «Издательский дом «Казанская недвижимость», 2015. С. 7–9 (на англ.)
34. Борисов П. А. Керамические пегматиты СССР и их заменители. М.: 1954. 270 с.
35. Войтеховский Ю. Л. Кианитовые сланцы Б. Кейв – стратегический ресурс России // Проблемы освоения кианитовых месторождений Кольского полуострова, Карелии и Урала. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2010.
36. Дудкин О. Б. Технологическая минералогия комплексного сырья на примере месторождений щелочных плутонов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996. 134 с.
37. Иванова Т. Н., Дудкин О. Б., Козырева Л. В., Поляков К. И. Ийолит-уртиты Хибинского массива. Л.: Наука, 1970. 180 с.
38. Калинин Ю. К., Ковалевский В. В. Шунгитовые породы: горизонты научного поиска // Наука в России, 2013. № 6. С. 66–72.
39. Калинин Ю. К., Ковалевский В. В. Шунгитовые породы – 50 лет научно-технологических исследований в Институте геологии // Геология Карелии от архея до наших дней. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 172–179.
40. Леонтьев А. Г., Михайлов В. П., Бискэ Н. С. Графит // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: издательство «Карелия». Книга 2. 2006. С. 40–47.
41. Минерально-сырьевая база Республики Карелия / отв. ред. В. П. Михайлов, В. Н. Аминов. Петрозаводск: Карелия, 2006. Кн. 2. 356 с.
42. Морозова Т. А., Рухленко Е. Д., Ракаев А. И., Николаев А. И. Минералогическо-технологические исследования магний-силикатного сырья Хабозерского месторождения Кольского полуострова с целью получения на их основе огнеупорных, строительных и технических материалов // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 141–143.
43. Морфогенетические типы и технология обогащения кианитовых руд / Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В. и др. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2013. 310 с.
44. Небокситовое алюминиевое сырье России // В. А. Коротеев, В. Н. Огородников, Ю. Л. Войтеховский и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 229 с.
45. Оливины Кольского полуострова. I. Влияние условий залегания оливинитов на их качество / Н. Н. Гришин, В. Т. Калинин, Ф. Д. Ларичкин, Г. К. Горюнов // Инновационный потенциал кольской науки. Апатиты: 2005.
46. Патент № 2483024. Способ обогащения природного кварцевого сырья. Приоритет от 22 июня 2011 г. Авторы: Скамницкая Л. С., Данилевская Л. А., Раков Л. Т., Дубинчук В. Т. Зарегистрировано в Государственном реестре Российской Федерации 27.05.2013. Заявитель ИГ КарНЦ РАН.
47. Патент № 2525681 Способ оценки качества кварцевого сырья. Приоритет от 11 декабря 2012 г. Авторы: Скамницкая Л. С., Данилевская Л. А., Щипцов В. В., Раков Л. Т., Дубинчук В. Т. Зарегистрировано в Государственном реестре Российской Федерации 23.06.2014. Заявитель ИГ КарНЦ РАН.
48. Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В., Жабин С. В. и др. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
49. Применение сорбентов для профилактики нарушения обмена веществ и токсикозов животных: монография / Папуниди К. Х., Семёнов Э. И., Кадиков И. Р., Бикташев Р. У., Гагауллин Д. Х. Казань: ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», 2018. 224 с.
50. Устинов В. Н., Загайный А. К., Смит К. Б., Ушков В. В., Лазько Е. Е., Лукьянова Л. И., Лобкова Л. П. Раннепротерозойские алмазоносные кимберлиты Карелии и особенности их формирования // Геология и геофизика, 2009. Т. 50. № 9. С. 963–977.
51. Ушков В. В. Кимозерское проявление кимберлитов в Онежской структуре // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: 2001. С. 94–98.
52. Хазов Р. А. Металлогения Ладожско-Ботнического геоблока Балтийского щита. Л.: Наука, 1982. 192 с.
53. Щипцов В. В. Значение индустриальных минералов Карелии в областях промышленного производства // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: РИО КарНЦ РАН, 2001. № 3. С. 126–130.
54. Щипцов В. В., Бубнова Т. П., Гаранжа А. В., Скамницкая Л. С., Щипцова Н. И. Геолого-технологическая и экономическая оценка ресурсного потенциала карбонатитов Тикшеозерского массива (формация ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 159–170.
55. Щипцов В. В., Войтеховский Ю. Л., Жиров Д. В., Нерадовский Ю. Н. Оценка месторождений промышленных минералов Карело-Кольского региона на современном этапе // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: мат. Всеросс. научн. конф. с межд. участием. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 2017. С. 246–247.
56. Щипцов В. В. Магнезиальное сырье: история, мировой потенциал и ресурсы Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. Т. 15. С. 45–61.
57. Щипцов В. В. Промышленные минералы Карелии // Горный журнал, 2019. № 3. С. 16–20.
58. Щипцов В. В., Фролов П. В., Ильина В. П., Кевлич В. И. К технологической минералогии промышленных минералов Аганозерского блока Бураковского массива // Фундаментальные и прикладные аспекты технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. С. 66–76.