

В связи с реализацией в Республике Коми инвестиционных проектов по производству глинозема на Сосногорском глиноземном заводе и диоксида титана на Ярегском горно-химическом комбинате может сложиться благоприятная ситуация для реанимирования разработки каменной соли Сереговского месторождения. Производство диоксида титана потребует ежегодной поставки жидкого хлора в объеме 29,5 тыс. т, натрия технического – 21 тыс. т в год, кислоты соляной – 4,8 тыс. т. Сосногорский глиноземный завод уже в первый год работы будет нуждаться в 66 тыс. т каустической соды, а затем ежегодные потребности в этом сырьевом ресурсе возрастут до 154 тыс. т. Помимо организации химического производства по переработке сереговских солей с целью получения указанных выше соединений возможен и попутный выпуск пищевой соли.

Именно в сочетании непищевых и пищевых возможностей использования сереговских солей находится в настоящее время реальная перспектива возобновления промышленной разработки Сереговского месторождения. При этом годовые объемы добычи соли на месторождении могут составлять десятки и сотни тысяч тонн в год.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Иевлев А.А., Рябков Ю.И.* Проект создания горно-химического производства в Коми республике в 1960-х гг.: современный взгляд // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения. Труды 5-ой межрегиональной научно-практической конференции. Воркута, 2007. С. 65-68.

2. *Иевлев А.А.* Сереговское месторождение каменной соли как источник материалов для крупных горнопромышленных проектов // Геоматериалы для высоких технологий, алмазы, благородные металлы, самоцветы Тимано-Североуральского региона: Материалы Всероссийского минералогического семинара с международным участием. Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 76-77.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОМОРФНЫХ ЧЕРТ ОСНОВНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ МИНЕРАЛОВ КАРЕЛИИ И СОПРЯЖЕННЫХ С НИМИ МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЦИЙ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

*Щипцов В.В.*

Учреждение Российской академии наук Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск

### **Введение**

Карелия перспективна на многие виды полезных ископаемых, включая промышленные минералы. К последним относятся анортозит, апатит, графит, ильменит, кварц, мусковит, кианит, андалузит, ставролит, гранат, магнезит, оливин, родусит-асбест, серный колчедан, тальк, шунгит, а также пегматитовое полевошпатовое сырье для фарфоровой, стекольной и фаянсовой промышленности, карбонатное сырье, огнеупорные высококремнистые кварциты, сырье для камнелитейной промышленности и производства минеральной ваты, серпентиниты, кровельный сланец, тальковый камень и др. Значительная часть данных промышленных минералов принадлежит к метаморфогенной серии месторождений и проявлений архей-протерозойских комплексов Фенноскандинавского щита. Различные типы месторождений, преимущественно связанные с региональным метаморфизмом и кислотными, основными и щелочными фациями метасоматоза, отражают обстановки различных термодинамических условий формирования. Следует отметить, что докембрийские щиты, в частности Фенноскандинавский, более «сухие», чем молодые орогенические пояса.

### **Роль метаморфизма и метасоматизма при формировании месторождений промышленных минералов**

Геологическое и минералого-петрографическое изучение отражает большое разнообразие метаморфических толщ на территории Карелии. Они несут информацию не только о термодинамических условиях метаморфизма, но и их геотектоническом положении и направленности аллохимических превращений. Было предложено [3, 4, 6] выделять метаморфические фации и метаморфические серии. Фациальная принадлежность и термодинамические условия определялись по РТ-схеме фаций и фациальных серий. Таким образом, появились понятия, как тип метаморфизма – ладожский, андалузит-силлиманитовый (фациальная серия А3–А2), западнокарельский, умереннобарический кианит-силлиманитовый (АБ), беломорско-лапландский, высокобарический (повышенных давлений) кианит-силлиманитовый (Б2) и беломорский, высокобарический кианитовый (Б2 – В).

Метаморфогенная и метаморфическая группы (метаморфический тип) рассматриваются в приложении к месторождениям докембрия Карелии, что показано в нижеследующем виде для некоторых полезных ископаемых: магнетитовые кварциты (АБ), графит (А3-А2), кианит (Б2-В, Б2), андалузит (А3-А2), ставролит (Б2, АБ, А3-А2), гранат (Б2-В, Б2, АБ, А3-А2), мусковит (Б2-В, Б2), кварц (Б2-В, Б2, АБ, А3-А2), пегматиты метаморфогенного генезиса (Б2-В), пирит (АБ, А3-А2), тальк (АБ), серпентинит (АБ), оливин (АБ), кварцит (АБ, А3-А2), мрамор (АБ, А3-А2), шунгиты (АБ).

P-T схема принципиальных соотношений между метаморфическими фациями и субфациями, разработанная В.А. Глебовицким и С.А. Бушминым [2], имеет большое значение для обособления полей формирования месторождений промышленных минералов (рис. 1).

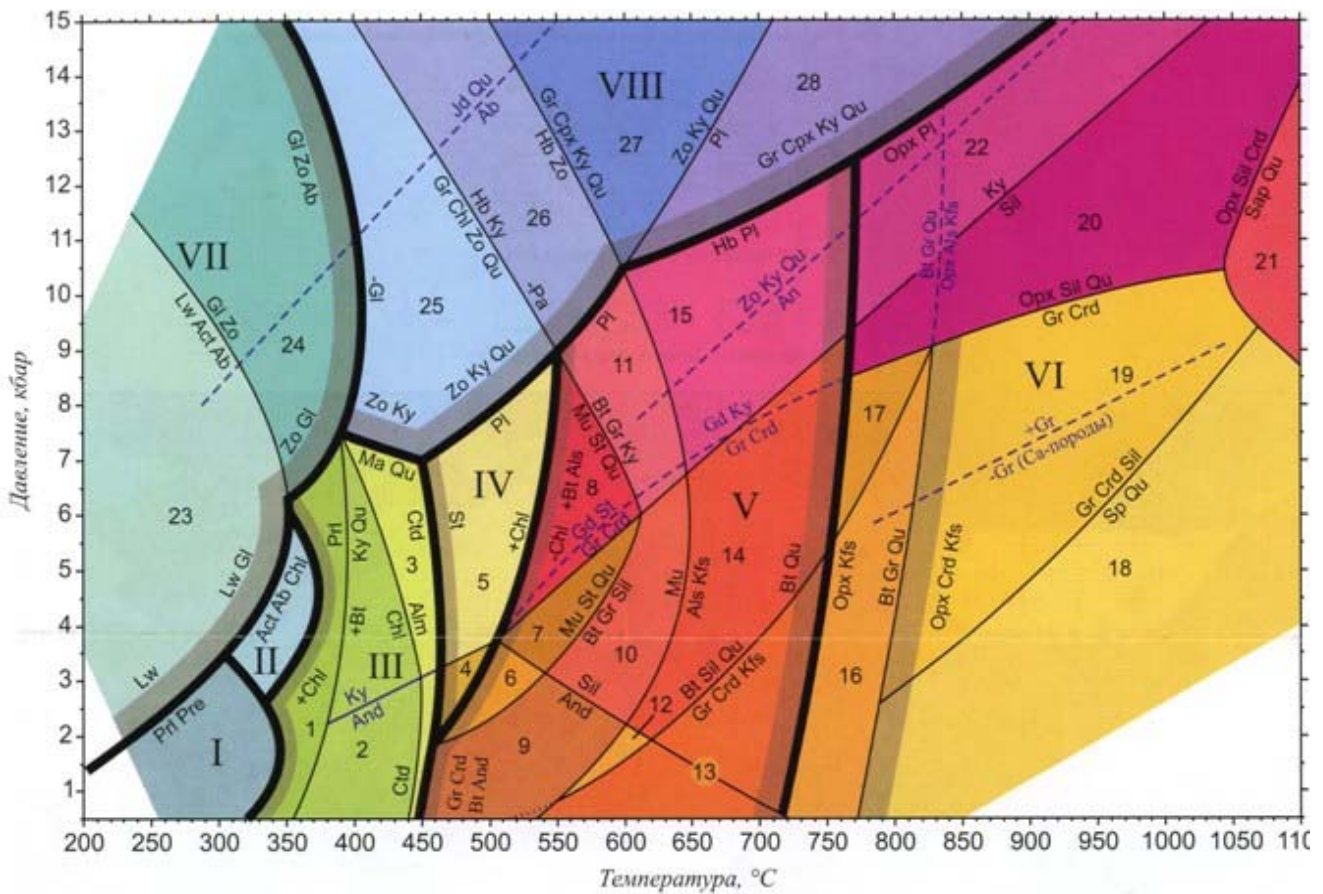


Рис. 1. P-T схема принципиальных соотношений между метаморфическими фациями и субфациями [2]

**Условные обозначения.** Римские цифры – фации; арабские цифры – субфации: I – цеолитовая или пумпеллит-пренитовая; II – пумпеллит-актинолитовая; III – зеленосланцевая: 1 – мусковит-стильпномелан-хлоритовая, 2 – мусковит-хлорит-биотитовая, 3 – хлорит-хлоритоид-гранатовая; IV – эпидот-амфиболитовая: 4 – андалузит-хлорит-ставролитовая, 5 – кианит-хлорит-ставролитовая; V – амфиболитовая: 6 – андалузит-мусковит-биотит-ставролитовая, 7 – силлиманит-мусковит-биотит-ставролитовая, 8 – кианит-мусковит-биотит-ставролитовая, 9 – кордиерит-андалузит-биотит-мусковитовая, 10 – гранат-силлиманит-биотит-мусковитовая, 11 – гранат-кианит-биотит-мусковитовая, 12 – кордиерит-биотит-андалузит-ортоклазовая, 13 – биотит-кордиерит-гранат-ортоклазовая, 14 – гранат-биотит-силлиманит—ортоклазовая, 15 – гранат-биотит-кианит-ортоклазовая, 16 – биотит-гранат-ортоклаз-гиперстеновая, 17 – ортоклаз-кордиерит-силлиманит-биотитовая, 18 – кварц-шпинелевая, 19 – гранат-ортоклаз-кордиерит-гиперстеновая, 20 – силлиманит-гиперстеновая, 21 – кварц-сапфириновая, 22 – кианит-гиперстеновая; VII – глаукофансланцевая: 23 – лавсонит-глаукофановая, 24 – цоизит-глаукофановая; VIII – эклогитовая: 25 – парагонит-кианит-цоизитовая, 26 – цоизит-кианит-каринтиновая, 27 – гранат-кианит-омфацитовая, 28 – плагиоклаз-кианит-омфацитовая

В метаморфических докембрийских комплексах Карелии особенности минерального состава промышленных минералов и горных пород зависят от специфики термодинамических условий регионального метаморфизма и локального метасоматизма, преимущественно связанного с проявлением наиболее интенсивно в зонах разломов. Глубинный источник поступления тепла и флюидов при благоприятных обстановках играет важную роль в формировании полезного минерального сырья.

По С.А. Бушмину [6] выделяются фации метасоматоза, связанные с метаморфизмом: 1) кислотные фации (Al-Si), основные фации (Fe-Mg-Ca), щелочные фации (K-Na). Метасоматоз оказывает существенное влияние на формирование промышленных минералов, придавая им особенные технологические характеристики. Это влияние очень выразительно в границах Хизоваарской структуры, где широко распространены роговообманково-ставролит-кианит-кварцевые, роговообманково-гранат-кианит-кварцевые, ставролит-кианит-кварцевые, гранат-кианит-кварцевые, кианит-мусковит-кварцевые, гранат-мусковит-кварцевые кислотные фации, составляющие в целом метасоматически преобразованные хизовариты,

сформированные при  $T=500-590^{\circ}\text{C}$ ,  $P=7-8$  кбар, по С.А. Бушмину. В пределах данной структуры метаморфогенно-метасоматические преобразования, изофациальные соответствующим зонам метаморфизма, связаны с заключительными коллизионными стадиями развития региона в позднем неогарее и позднем палеопротерозое. Особенно интенсивно метасоматические преобразования происходили в позднем протерозое, что стало следствием образования скоплений кианита, граната, ставролита, мусковита, кварца промышленного значения (Южная линза, Высота-181, Межозерное и др. участки).

Кислотные фации (Al-Si) подразделены: 1) высокотемпературные – кордиерит-силлиманит-кварцевая, гранат-силлиманит-кварцевая, гиперстен-силлиманит-кварцевая, ортоклаз-микроклин-кварцевая (кварцевая зона Меломайс); 2) среднетемпературные - роговообманково-ставролит-кианит-кварцевая, роговообманково-гранат-кианит-кварцевая, ставролит-кианит-кварцевая, гранат-кианит-кварцевая, кордиерит-андалузит-кварцевая, андалузит-мусковит-кварцевая, кианит-мусковит-кварцевая, корундовая, куммингтонит-гранат-кварцевая, актинолит-эпидот-кварцевая (Хизоваарская группа месторождений и проявлений кианита, кварца, ставролита, граната, мусковита, Леппясюрья - ставролит, Харлу и Вахваярви – андалузит, Тербеостров и Униярви – гранат, Степаново озеро – кварц); 3) низкотемпературные – хлоритоид-кварцевая, эпидот-хлорит-кварцевая (пропилиты), карбонат-кварцевая (листвениты), карбонат-серицит-кварцевая (березиты), карбонат-альбит-кварцевая (эйситы). Основные фации (Fe-Mg-Ca) подразделены: 1) высокотемпературные – силлиманит-гранат-гиперстеновая, магнезиальных скарнов, эклогитовые; 2) среднетемпературные А) железо-магнезиальные, существенно магнезиальные – андалузит-антофиллит-кордиеритовая, роговообманково-ставролит-гранатовая (хизовариты – участок Ставролитовый), кианит-жедрит-гранатовая (Тербеостров), В) магнезиально-железистые, существенно железистые – куммингтонит-жедрит-гранатовая, роговообманково-куммингтонит-жедритовая, гранат-магнетитовая, хлорит-гранатовая, биотитовая, С) магнезиально-железисто-кальциевые, существенно кальциевые – известковых скарнов и скарноидов, эпидот-актинолитовая, диопсид-анортитовая, роговообманково-анортитовая (Нижнее Котозеро), низкотемпературные – хлоритоидная, эпидотовая (пропилиты), хлоритовая (пропилиты), карбонатная (листвениты). Щелочные фации (K-Na) подразделены: среднетемпературные – альбит-олигоклазовая, микроклиновая, микроклиновая со щелочными силикатами, низкотемпературные – карбонат-серицитовая (березиты), карбонат-калишпатовая (гумбеиты).

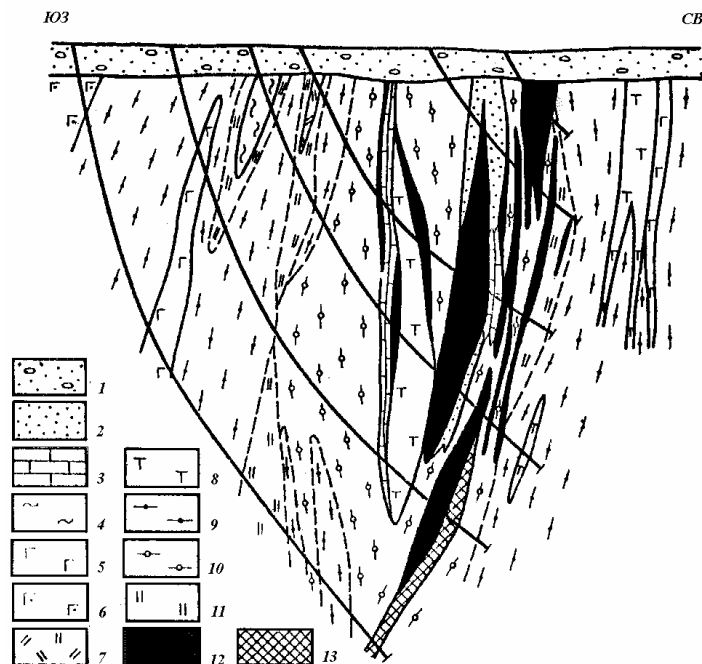
Главнейшие по частоте встречаемости метаморфические минералы - полевои шпат, кварц, амфибол, слюды (биотит, мусковит, серицит), пироксен. Группа минералов, характерных для метаморфических пород восточной части Фенноскандинавского щита, относится к типоморфным для образований данного класса - это ставролит, кианит, андалузит, силлиманит, кордиерит, гранат, пироксен, биотит, мусковит, пирит, серицит, хлорит, амфибол, тремолит, актинолит, серпентин, форстерит, тальк, шунгитовое вещество.

### ***Особенности карельских метаморфогенных месторождений и проявлений промышленных минералов на некоторых примерах***

Минерагения зеленокаменных поясов Карельского кратона характеризуется различными промышленными минералами метаморфогенного происхождения. В современном эрозионном срезе структурные комплексы этих поясов сохранились в виде узких полос среди архейских гнейсо-гранитных полей, размеры которых варьируют от первых километров до 200-300 км в длину при ширите от первых метров до 60 км.

В северной Карелии отмечается кианитовая минерализация в сланцевых толщах осадочно-вулканогенной формации лопия Северо-Карельского зеленокаменного пояса. Кианит Хизоваарского рудного поля образуется в условиях высоких давлений кианит-силлиманитовой фациальной серии метаморфизма Б2. Другой тип кианитовых руд формируется под воздействием наложенных процессов кислотных фаций метасоматоза (Al-Si), что отмечено группой исследователей [5, 10].

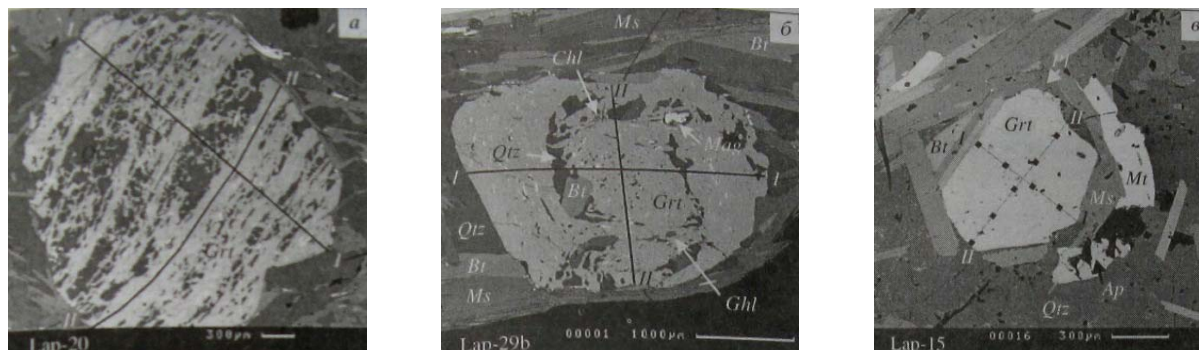
К зеленокаменным поясам приурочен целый ряд месторождений и проявлений метаморфогенной серноколчеданной формации [9]. Один из примеров сульфидных руд Парандовского месторождения показан на рисунке 2. Руды содержат 30-41% серы, 36-42% железа. Этот тип оруденения относится к метаморфогенному генезису и частично связывается с метасоматическими процессами. К петрологическим и минерагическим особенностям осадочно-вулканогенных формаций лопия принадлежит относительно простой состав серноколчеданных руд, представленных главным образом пирротин-пиритовым оруденением, поэтому под названием вида полезного ископаемого употребляется пирит как главный промышленный минерал данного рудного комплекса. По мере их омоложения, как отмечал С.И. Рыбаков [8], происходит усложнения состава руд.



**Рис. 2.** Разрез одного из участков Парандовского месторождения [9]: 1 – четвертичные отложения; 2 – кварциты; 3 – известняки; 4 – графитистые сланцы; 5 – амфиболизированные диабазы; 6 – амфиболизированные габбро-диабазы; 7 – туфы дацитовых порфиров; 8 – хлорит-талковые сланцы; 9 – порфиробластические породы с кварц-плагиоклаз-хлоритовой основной массой; 10 – порфиробластические породы с кварц-плагиоклазовой основной массой; 11 – порфиробластические породы с биотитизированной основной массой; 12- пиритовая руда; 13 – пирроотиновая руда

На примере гранатов можно показать влияние геодинамических факторов, в частности, влияние изменения температур на качественные показатели. В зонах Барроу в пределах Шотландского нагорья показано, что при повышении температуры содержание MnO и CaO в гранатах быстро уменьшается и, наоборот, содержание FeO и MgO увеличивается [12, 15]. А. Миясиро [14] пришел к аналогичному выводу и показал, что общая тенденция эволюции состава граната при повышении температуры свойственна всем барическим типам метаморфизма и выражается в уменьшении содержания MnO и увеличении содержания FeO, а в дальнейшем MgO.

Большой петрологический интерес представляет гранат группы пиральспита. На рис.3 иллюстрируется развитие трех последовательных типов порфиробластов граната сланцевого пояса Тана (Лапландия) – от зародышевой структуры на стадиях погружения (а) через структуру «снежного кома» на стадии пика метаморфизма (б) до свободной от минеральных включений идиоморфной граната на стадии возвращения пород в сторону поверхности (в). Морфология граната прекрасно согласуется с его химической зональностью [7].



**Рис. 3.** Геодинамический аспект метаморфизма граната [7]

Данный пример является весьма наглядным, как в естественных условиях гранат преобразуется и очищается, т.е. происходит природное обогащение.

На устойчивость гранат-альмандина резко влияет окислительная обстановка. Это установлено экспериментально в присутствии водного флюида в двух различных окислительных режимах, когда по мере

увеличения  $P_{O_2}$  температурный интервал устойчивости алмандина снижается и как следствие этот минерал становится неустойчивым [13].

Особенности текстур и структур метаморфических пород, содержащих промышленный гранат, прямым образом связаны с фазовыми превращениями происходящими при быстром изменении внешних условий (температура, давление, потенциал подвижных компонентов при метасоматозе), что приводит к образованию относительно более равномерно мелкозернистых структур. С увеличением степени пересыщения скорость зародышевания новых фаз возрастает быстрее, чем скорость их линейного роста. При медленном изменении внешних условий имеет место тенденция к образованию порфиробластических структур граната - минерала с наименьшими скоростями зародышевания и плотными фазами с большой удельной поверхностной энергией, подобно андалузиту, ставролиту, кианиту и др.

Распределение относительного числа и величины зерен алмандина в различных участках зависят от химического состава породы. Общее количество граната зависит от общего химического состава породы (в частности, сод. FeO). При прочих равных условиях в каждой точке наблюдается предпочтительный средний радиус кристаллов (агрегатов), а вид функции распределения их размеров меняется с изменением радиуса. Число кристаллов на единицу объекта коррелируется с отношением окислов, входящих в гранат к сумме щелочей, препятствующих образованию граната, т.е. зародышевание происходит более быстро в микроучастках, близких по составу к гранату (рис. 4).

В восточной части Хизоваарской структуры было выявлено месторождение маложелезистого мелкочешуйчатого мусковита в мусковитовых кварцитах Межозерного (Восточно-Хизоваарского) оруденения [11], генетически связанных с условиями мусковит-кварцевой и мусковит-кианит кварцевой кислотной фации метасоматоза. Руды этого объекта, благодаря низкому содержанию примеси железа и высоким технологическим свойствам мусковита, являются уникальным видом сырья для производства перламутровых пигментов. В отличие от чупинского мусковита пегматитовой формации, маложелезистый мусковит имеет превосходные характеристики по железу – менее 1%, мышьяку – не более 3 мг/кг, свинца – не более 20 мг/кг, более 90% свободных от минеральных примесей чешуек фракции – 0.04-0.1 мм. Кроме того, может быть разработана технология извлечения кварца. В России пока подобных аналогов практически не имеется. Слюда-мусковит относится к видам минерального сырья, конъюнктура которого на мировом рынке зависит от научно-технического прогресса в экономике стран и потребителей, и минерально-сырьевая база имеет тенденцию интенсивного развития (табл. 1).

Таблица 1. Возможные области применения мелкочешуйчатого мусковита Межозерного проявления

Фракция	№ сита (mesh)	Типичные области применения
Грубые хлопья	6	Буровые растворы, искусственный снег
Средние хлопья	10	Декоративно-прикладное искусство
Тонкие хлопья	16	Наполнители бетонных смесей, огнеупорный кирпич, гипсокартон
Грубый порошок	30	Отжиг металлов, абсорбент во взрывчатых веществах, дезинфектанты, автомобильные компоненты
Средний порошок	60	Сварочные электроды, кабели, формовочные смеси для литейного производства, эмали для покрытия труб, смазочные материалы, клеящие вещества
Тонкий порошок	100	Текстурные краски, акустический штукатурный гипс, потолочная плитка
Сверхтонкий порошок	325	Лакокрасочные материалы, пластмассы, резинотехнические изделия, бумага, косметические товары

В Ладужской складчатой области открыто более 30 проявлений различных типов графита. В графитсодержащих толщах, где присутствует крипнокристаллический графит, содержание углерода составляет от 15 до 35% и выше. Они приурочены к метаморфизованным вулканогенно-осадочным толщам калевийского и людиковийского надгоризонтов или к более древним породам. Крупные графитовые рудные тела обнаружены на участке Ихала, где они залегают в сложнислоцированной толще людиковийского надгоризонта. Амфиболито-сланцево-гнейсовая толща претерпела метаморфизм от амфиболитовой до гранулитовой фаций андалузит-силлиманитовой фациальной серии А3–А2. Графитовый горизонт состоит из нескольких графитоносных пачек мощностью от 8 до 350 метров протяженностью до 1500 метров [1].

В ятулийское время возникали фациальные условия, благоприятные для накопления чистых кварцевых песков в бассейнах с длительным перемывом и сортировкой обломочного материала. В этой обстановке происходило полное разрушение аркозовой составляющей, окисление железистых и удаление слюдястых минералов, что и стало причиной накопления в составе ятулийского надгоризонта мощных пластов чистых кварцевых песков, метаморфизованных в дальнейшем в мономинеральные кварциты и кварцито-песчаники.

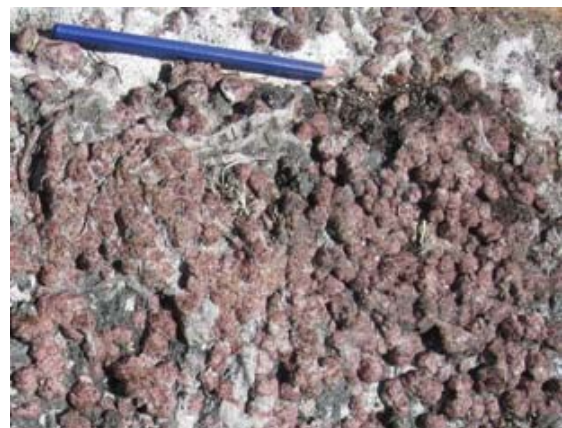


Рис. 4. Варианты распределения относительного числа и величины зерен альмандина (Высота-181)

Основные параметры химсостава кварцитов месторождения Метчангъярви: SiO<sub>2</sub> - 98,4%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,62%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,14%, Na<sub>2</sub>O - 0,04%, K<sub>2</sub>O - 0,15%.

Физико-механические свойства следующие:

- плотность – 2.67 г/см<sup>3</sup>
- предел прочности при сжатии 355 - Мпа
- пористость – 0.27%
- сопротивление удару - 18
- потери при истирании – 0.14 г/см<sup>2</sup>
- огнеупорность -1750° С.

По своему химическому составу и физико-химическим свойствам кварциты месторождения Метчангъярви являются комплексным сырьем и могут быть использованы в различных отраслях промышленности: для производства технического кремния марок Кр-1 и Кр-2, в качестве флюса при выплавке меди, никеля и фосфора, для производства динасовых изделий и воздухонагревателей доменных печей, для производства ферросплавов и карбида кремния, для производства фарфоро-фнянсовых изделий любого назначения и технического, лабораторного, медицинского стекла, для изготовления керамических литейных форм, в качестве футеровки помольных агрегатов и мелющих тел, а также футеровочных масс для индукционных печей и сталеразливочных ковшей, в качестве кислотостойких материалов, в производстве жаростойких бетонов и в качестве высокопрочных строительных материалов, белого декоративного щебня и долговечных облицовочных материалов. По многим направлениям проведены заводские и укрупненные лабораторные испытания.

### Заключение

Метаморфизм и метасоматоз играли значительную роль в формировании полезных ископаемых Карелии. Значительная часть месторождений и проявлений промышленных минералов докембрия восточной части Фенноскандинавского щита относится к метаморфогенной серии - это рудные формации высокоглиноземистого сырья, формации высокомагнезиального сырья, формации графитистых гнейсов, формации метаморфизованных колчеданных руд, шунгитов и др. Технологические свойства данных промышленных минералов, как и все их особенности, можно рассматривать как итог суммарного действия метаморфического фактора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бискэ Н.С., Скамницкая Л.С. Метаморфические критерии прогнозирования графитовых руд // Проблемы прогнозирования поисков и разведки месторождений нерудных полезных ископаемых: Сб. науч. тр. М., 1981. С. 142-143.
2. Бушмин С. А., Глебовицкий В. А.. Схема минеральных фаций метаморфических пород // Зап. РМО. Вып.2. 2008. С. 1-13.
3. Геология Карелии. Л.: Наука, 1987. 231 с.
4. Глебовицкий В.А. Проблемы эволюции метаморфических процессов в подвижных поясах. М., Л., 1973. 127 с.
5. Глебовицкий В.А., Бушмин С.А. Послемигматитовый метасоматоз. Л., 1983. 127 с.
6. Карта минеральных фаций метаморфических пород юго-восточной части Фенноскандинавского щита // под редакцией В.А. Глебовицкого, 1991 г.
7. Перчук Л.Л., Геря Т.В. Всплывание гранулитовых комплексов в докембрии. 1. Геолого-петрологический тест // Экспериментальная минералогия: некоторые итоги на рубеже столетий. М.: Наука, 2004. С. 137-157.
8. Рыбаков С.И. Колчеданное рудообразование в раннем докембрии Балтийского щита. Л.: Наука, 1987. 266 с.
9. Серноколчеданные месторождения Карелии / под ред. В.А.Соколова. Л.: Наука, 1978. 192 с.
10. Хизоваарское кианитовое поле (Северная Карелия). Петрозаводск, 1988. 102 с.
11. Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Данилевская Л.А., Родионов В.С. Мусковитовые кварциты Карелии – новый промышленный тип слюдяного сырья // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып.6. Петрозаводск, КарНЦ РАН, 2003. С. 67-78.
12. Atherton M.P. The variations in garnet, biotite and chlorite composition in medium grade polytic rocks from the 12.
13. Hsu L.S. Selected phase relationships in the system Al-Mn-Fe-Si-O, a model for garnet equilibria // J.Petrology. 9, 1968. P. 40-83. 8 pp.
14. Mijashiro A. Calcium-poor garnet in relations to metamorphism // Geochim.Cosmochim. Acta. 4, 1953. P. 179-208.
15. Sturt B.A. The composition of garnet from polytic schists in relations to the grade of regional metamorphism // J.Petrology. 3. 1962. P. 181-191.