31. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы // ДАН СССР. 1979. Т.247. Вып. 4. – С. 829-831.
32. *Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф.* О свойствах дискретности горных пород // Препринт ИФЗ АН СССР. 1981. Вып. 1. – С. 15-28.
33. *Садовский М.А., Писаренко В.Ф., Родионов В.Н*. От сейсмологии к геомеханике. О модели геофизической среды // Вестник АН СССР. 1983. Вып. 1. – С. 82-88.
34. *Поваренных М.Ю.* Минералогия на грани смены парадигмы // Новые идеи и концепции в минералогии: Материалы III Международного минералогического семинара. Сыктывкар:Геопринт. 2002. 288 с. – С. 14-18.
35. Васубандху. Абхидхармокоша (Энциклопедия Абхидхармы). Учение о мире. – СПб.:Андреев и сыновья. – 1994. – С. 179.
36. *Индутный В.В., Кулик Д.А*. Пространственное строение минеральных фаз в горных породах // Доклады АН УССР. 1982. Вып.10. – С.10-13.
37. *Поваренных М.Ю.* Новые данные о некоторых редкометальных минералов из карбонатитов Черниговской зоны // Новые данные о минералах. М.: Наука. 1985. N 32. – С. 82-90.
38. *Иванюк Г.Ю.* Магнетит железистых кварцитов Кольского полуострова. Автореферат на соиск. уч. ст. канд. г.-м.наук. 1992. СПб. – 17 с.
39. *Гайдукова В.С., Данильченко А.Я., Сидоренко Г.А*. Количественный минералогический анализ на современном этапе его развития // Сов. геол. 1989. Вып.2. – С.74-83.
40. *Гайдукова В.С., Шурига Т.Н., Голубничий В.В., Чекинова О.О.* Пример использования автоматического оптико-геометрического метода при изучении редкометалльных метасоматитов // Сб. тез. докл.: Прикладные и экологические аспекты минералогии. 1991. Кн. 2. М.: МО ВМО. – С. 158-160.
41. *Гайдукова В.С., Могилевкин С.Б., Лапшин А.М., Голубничий В.В., Чекинова О.О.* Исследование лейкократовых гранитов Южного Казахстана с помощью оптико-геометрического метода // Сб. тез. докл.: Прикладные и экологические аспекты минералогии. 1991. Кн. 2. М.: МО ВМО. – С. 160-161.
42. *Поваренных М.Ю*. Фрустумация (фрагментация, кусковатость, образование «элементарной ячейки») – впервые выявленное свойство горных пород // Теория, история, философия и практика минералогии. Материалы IV Международного минералогического семинара. Сыктывкар, 2006. 328 с. – С. 66-67.
43. *Поваренных М.Ю.* Переход от зёренного к ансамблевому (агрегативному, фрустумационному) представлению горных пород // Материалы Международной научной конференции «Фёдоровская сессия-2006». СПбб 2006. 217 с. – С. 35-37.
44. *Gotze J., Plotze D., Fuchs H., Habermann D*. Defect structure and luminescence behaviour of agate – results of electron paramagnetic resonance (EPR) and cathodoluminescence (CL) studies // Miner. Mag. 1999. V. 63. P. 149-163.
45. *Barnsley M*. Fractals everywhere. Academic Press. Inc. 1988. 51 p.
46. *Carlson W.D., Denison C., Ketcham R.A*. Controls on the nucleation and growth of porphyroblasts: kinetics from natural textures and numerical models // Geol. Journal. 1995. V. 30. PP. 207-225.
47. *Fowler A.D.* Self-organized mineral textures of igneous rocks: the fractal approach // Earth Sci. Reviews. 1990. 29. PP. 47-55.
48. *Friesen W.I., Mikula R.J*. Fractal dimensions of coal particles // J/ Colloid Interface Sci. 1987. 120. PP. 263 -271.
49. *Mandelbrot B.B*. The fractal geometry of Nature. San-Francisco: Freeman. 1982. – 461 p.
50. *Thompson A.H*. Fractals in rock physics // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 1991. 19. PP. 237-262.
51. *Wong Po-zen, Howard J*. Surface roughening and fractal nature of rocks // Physical Review Letters. 1986. V. 57. N 5. PP. 637-640.
52. *Федер Е*. Фракталы. – М.:Мир. – 1991. – 258 с.
53. *Пономарёв В.С.* Структуры самопроизвольного разрушения в горных породах // Изучение тектонических деформаций. – М.:ГИН АН СССР. – 1987. – С. 117-136.
54. *Сергеев В.Н.* Информативность минеральных индивидов и агрегатов в структурно-генетических анализах кристаллических комплексов // Структурные парагенезы и их ансамбли. Материалы IV Всероссийского симпозиума по экспериментальной тектонике и структурной геологии. – М.:ГЕОС. – 1997. 282 с. – С. 152-154.
55. *Шумков С.И., Бунин И.Ж., Терехова С.Е., Зверев И.В., Долгова М.О*. Фрактальная природа процесса дезинтеграции частиц угля при взаимодействии с метаногенной ассоциацией микроорганизмов // Докл. АН России. – 1998. Т. 360. № 5. – С. 652-654.
56. *Галиулин Р.В*. Геометрические аспекты кристаллообразования // Кристаллография. 1998. Т. 43. N 2. – С. 366-374.

ВЛИЯНИЕ ТИПОМОРФНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОСНОВНЫХ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

О.В. Мясникова

Институту геологии, Карельский научный центр РАН

В последнее время уделяется большое внимание вопросам типоморфизма основных породообразующих минералов с целью выявления генетических особенностей пород и возможности использования этих данных при поисках и предварительной оценке месторождений полезных ископаемых.

По физической сущности типоморфные особенности минералов делятся на четыре группы [1]:

1. Конституционные типоморфные признаки (типоморфизм конституции минералов): химические; структурные.

2. Морфологические типоморфные признаки (типоморфизм морфологии минералов): облик кристаллических индивидов; рельеф на гранях кристаллов; характер поверхности зерен.

3. Типомрфные включения минералообразующей среды: газовожидкие включения; включения бывшего расплава; твердые включения.

4. Типоморфизм физических свойств минералов: оптические; люминесцентные; электрические; термические; механические.

Как правило, неметаллические полезные ископаемые, используемые в качестве строительных облицовочных материалов, представляют собой полиминеральные системы, физико-механические свойства которых зависят от эндогенных условий образования и последующих экзогенных и техногенных процессов на протяжении всего периода существования.

Цель данного исследования - объяснить, основываясь на типоморфных особенностях основных породообразующих минералов физико-механические свойства природного камня, на примере месторождений гранита.

Для изучения были выбраны месторождения различных формационных типов гранита в Северной Карелии - Летнереченское и Калгувара, в Центральной Карелии – Кашина Гора и в Юго-Западной Карелии – Сулку.

Граниты месторождения Летнереченское (табл.1 - №1) представляют собой мелкозернистые породы, имеющие розоватую до светло красных оттенков окраску основного матрикса. Главные породообразующие минералы: микроклин – 36%, плагиоклаз – 25%, кварц – 33%. Характерными особенностями являются преобладание калиевого полевого шпата над плагиоклазом, высокое содержание кварца и незначительное количество темноцветных минералов. Калиевый полевой шпат представлен микроклином, зерна имеют таблитчатые и полигональные очертания с ровными, иногда ступенчатыми границами, что характерно для начальной стадии дробления породы (процесс катаклаза). Кварц развит в виде зерен ксеноморфных очертаний, округлой и овальной формы, а также более крупных бласт изометричной формы с извилистыми краями. Плагиоклаз представлен зернами таблитчатой, удлиненной и изометричной формы, границы зерен ровные, слегка угловатые; часть зерен содержит мелкодисперсные зерна серицита и включения кварца в виде единичных гранул. Структура гранитов гипидиоморфнозернистая.

Месторождение Калгувара (табл.1 - №2) сложено среднезернистыми до крупнозернистых гранитами нормального ряда, представляющими собой сильно метаморфизованную породу, в которой наблюдаются процессы частичного плавления – мирмекиты, в которых кварц представлен как продукт реакции при замещении калиевого полевого шпата плагиоклазом. Граниты имеют розово-красную окраску с полосчатостью, обусловленной ориентированным расположением чешуек биотита. Главные породообразующие минералы: плагиоклаз – 34%, микроклин – 32%, кварц – 25%. Характерной особенностью является наличие в калиевом полевом шпате (микроклине) пертитовых вростков. В результате незначительных вторичных изменений в микроклине развиваются пелитовые частицы. Плагиоклаз образует крупные идиоморфные зерна таблитчатой, иногда изометричной формы, серицитизация проявлена незначительно. Кварц представлен зернами с изометричными, иногда бухтообразными очертаниями. Структура гранитов гранобластовая.

Породы месторождения Кашина Гора представлены среднезернистыми, местами крупнозернистыми плагиогранитами (табл.1- №3), с порфировой структурой. Главные породообразующие минералы: плагиоклаз – 47%, кварц – 28%, микроклин – 22%. По внешнему виду породы отличаются от нормальных гранитов более темной окраской коричневатых оттенков. В качестве порфировых вкрапленников представлены таблитчатые зерна микроклина на фоне равномернозернистой гипидиоморфнозернистой основной массы, сложенной таблитчатыми зернами плагиоклаза и неправильными, реже округлыми зернами кварца. Характерной особенностью гранитов является отсутствие вторичных изменений.

Месторождение Сулку сложено мелкозернистыми плагиогранитами (табл.1 - №4), в которых среди гранобластовой основной массы наблюдаются участки порфиробластовой структуры. Главные породообразующие минералы: плагиоклаз – 50%, кварц – 27%, микроклин – 12%, биотит – 8% (18,5%). Характерной особенностью гранитов является наличие параллельно ориентированных линзовидных зерен кварца, обуславливающих гнейсовидность гранитов, а также значительное содержание биотита. Плагиоклаз представлен зернами таблитчатой формы, реже тонкими лейстами с ровными, иногда извилистыми границами. Зерна пелитизированы, более крупные иногда содержат микровключения серицита игольчатой формы и кварца округлой и овальной формы. Кварц образует мелкие изометричные зерна с ровными границами, а также крупные, часто вытянутые бласты с извилистыми границами. Микроклин представлен в виде ксеноморфных зерен с неровными краями, а также в виде порфиробласт таблитчатой формы. Биотит развит в виде вытянутых тонкопризматических, реже таблитчатых зерен, иногда частично или полностью замещается хлоритом.

По химическому составу исследуемые граниты относятся к породам, пересыщенным кремнекислотой: ее содержание в нормальных гранитах (2) составляет 70-72%, в плагиогранитах (3, 4) содержание SiO_2 несколько снижается до 69-70% и в щелочных гранитах (1) – соответствует 73%. Высокое содержание TiO_2 и Fe_2O_3+ FeO (рис. 1а и 1б) в гранитах нормального ряда и щелочных гранитах связано с наличием в их составе таких акцессорных минералов как сфен, титаномагнетит, ортит, рутил. Повышенное содержание TiO_2 в пла-

гиогранитах (3), месторождения Кашина Гора, обусловлено лейкоксеном и титаномагнетитом. Увеличение доли слюд, особенно мусковита приводит к повышенному содержанию глинозема в плагиогранитах до 16% (рис.1в) по сравнению с 13% у нормальных и щелочных гранитов. Повышенное содержание CaO в плагиогранитах (3) обусловлено увеличением доли плагиоклаза до 50 мас. % и цветных минералов, что подтверждается на диаграмме (рис.1г). Для всех исследуемых гранитов суммарное содержание щелочей составляет 7-8%. Снижение отношения K/Na в плагиогранитах (рис. 1д) обусловлено понижением содержания в них микроклина по сравнению с нормальными и щелочными гранитами.

На данных месторождениях были отобраны представительские пробы и определены основные физико-механические свойства, регламентирующие качество данных пород как облицовочного и строительного материала. Результаты приведены в табл.1 и на рисунке 2.

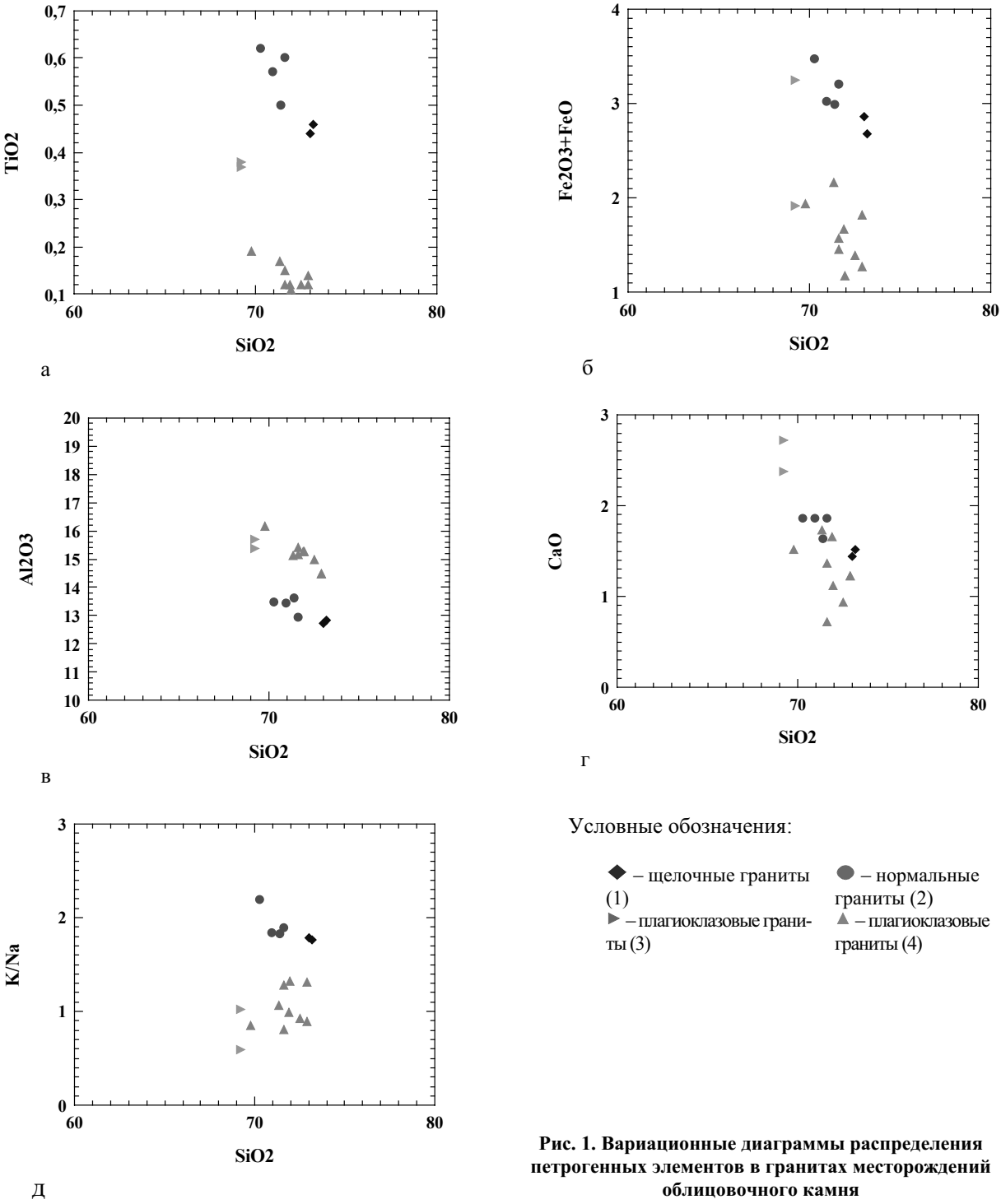

Рис. 1. Вариационные диаграммы распределения петрогенных элементов в гранитах месторождений облицовочного камня

Таблица 1

Характеристика месторождений гранита

№	Тип горной породы	Структура	Главные породообразующие минералы			Прочность при одноосном сжатии в сухом состоянии, МПа	Средняя плотность, кг/м^3	Водопоглощение,%	Эффективная пористость,%	Общая пористость, %
				Форма зерен	Содержание, %					
1	Микроклиновые граниты	Гипидиоморфнозернистая	Микроклин	Таблитчатая; полигональная; границы ровные, иногда ступенчатые.	36	121-138 / 131	2660	0,25	0,67	1,76
			Плагиоклаз	Таблитчата; удлиненная; изометричная; границы ровные, слегка угловатые.	25					
			Кварц	Округлая; овальная; изометричная с закругленными углами, иногда извилистыми краями.	33					
2	Нормальные граниты (щелочноземельные)	Гранобластовая	Плагиоклаз	Таблитчатая, иногда изометричная.	34	147-190 / 151	2660	0,33	0,88	2,39
			Микроклин	Таблитчатая.	32					
			Кварц	Изометричная, иногда бухтообразная.	25					
3	Плагиогранит	Порфировая	Плагиоклаз	Таблитчатая.	47	142-211 / 177	2690	0,15	0,40	0,74
			Кварц	Неправильная, реже округлая.	28					
			Микроклин	Таблитчатая.	22					
4	Плагиогранит	Гранобластовая с участками порфиробластовой	Плагиоклаз	Таблитчатая, реже тонкие лейсты; границы ровные, иногда извилистые.	50	160-175 / 168	2680	0,27	0,72	1,02
			Кварц	Изометричная, таблитчатая; границы ровные, в крупных зернах извилистые.	27					
			Микроклин	Ксеноморфная с неровными границами; таблитчатые.	12					
			Биотит	Тонкопризматическая, реже таблитчатая.	8 (18,5)					

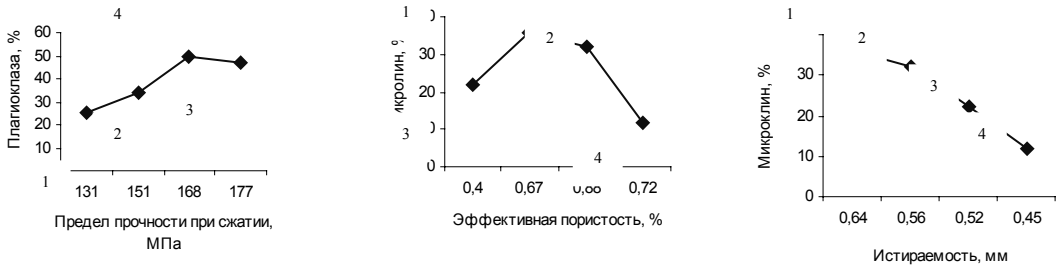

Рис.2. Зависимость физико-механических свойств от минерального состава гранита

По результатам анализа взаимосвязей минерального состава и структуры с физико-механическими свойствами гранита можно сделать следующие выводы:

Прослеживается зависимость предела прочности при одноосном сжатии от состава и содержания в гранитах полевого шпата, чем больше содержание плагиоклаза, тем выше значение прочности при одноосном сжатии. Увеличение содержания микроклина приводит к снижению прочности породы при одноосном сжатии и механической прочности – истираемости (рис.2). Микроклин, обладая совершенной спайностью в двух направлениях почти под прямым углом, легко подвергается деформациям в процессах катакластического метаморфизма, выражающегося в ступенчатости границ зерен на начальных стадиях дробления. Кроме того, типоморфной особенностью микроклина является его способность к формированию полисинтетических двойников по двум взаимно перпендикулярным направлениям, что обусловливает образование так называемой микроклиновой решетки. [2]. Двойниковые швы в данном случае представляют собой ослабленную зону. Значительное содержание такого минерала в горной породе, при экзогенном и техногенном воздействии будет способствовать накоплению и развитию в ней различных дефектов, ухудшающих физико-механические свойства породы.

Водопоглощение и эффективная пористость, характеризующие наличие открытых дефектов в горной породе, имеют самые низкие показатели у плагиогранитов с порфировой структурой (таблица1 - №3). Хотя порфировая структура – это неравномернозернистая структура, тем не менее, у данной разновидности гранита незначительные различия в крупности зерен минералов: порфировые вкрапленники представлены таблитчатыми зернами микроклина 1-3 мм, редко 6-8 мм; на фоне гипидиоморфнозернистой основной массы, сложенной таблитчатыми зернами плагиоклаза 2-3 мм и неправильной, реже округлой формы зернами кварца 1-3 мм. Отсутствие вторичных изменений, минеральные и структурные особенности обеспечили низкие показатели эффективной пористости и высокое значение предела прочности при сжатии.

Для плагиогранитов (таблица1 - №4) высокие значения водопоглощения и эффективной пористости связаны с присутствием среди гранобластовой основной массы участков порфиробластовой структуры, где около порфиробласт могут наблюдаться отодвигания, раздвигания и изгибания минералов или структурных элементов основной ткани под влиянием роста порфиробластов (кварца, иногда микроклина) [3]. Большое содержание (8-18%) и неравномерное распределение биотита в породе, обладающего совершенной спайностью и низкой твердостью, является дополнительным источником ослабления породы.

Высокие значения водопоглощения и эффективной пористости в мелкозернистых микроклиновых гранитах с гипидиоморфнозернистой структурой, (табл.1 - № 1) очевидно связаны с большим содержанием и наличием микродефектов в микроклине.

Средняя плотность гранитов напрямую зависит от состава, типоморфных особенностей и содержания главных породообразующих минералов, и от присутствия темноцветных минералов.

Более плотными являются граниты с большим процентным содержанием натриево-кальциевых полевых шпатов в составе и присутствием темноцветных минералов.

Таким образом, изучая минералогический и химический состав гранитов, учитывая их структурно-текстурные особенности, можно косвенно оценить физико-механические свойства неметаллических полезных ископаемых на стадии предварительной оценки месторождений на облицовочный камень.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Е.К. Лазаренко, В.И. Павлишин, В.С. Мельников.* Теоритические основы учения о типоморфизме минералов. – В кн.: Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов. М.: Наука, 1980.

2. *Г.М. Саранчина.* Породообразующие минералы. С-П. Университет, 1998. – 155 с..

3. *Ю.И. Половинкина.* Структуры и текстуры изверженных и метаморфических горных пород. Часть первая. М.: Недра, 1966. – 237 с.

ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СЫРЬЯ ДЛЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Г.А.Лебедева, Г.П.Озерова

Институт геологии КарНЦ РАН

К базальтовым технологиям относятся производства каменного литья и минеральной ваты из расплавов горных пород основного-ультраосновного состава (базальтов, диабазов, габбро-диабазов, порфиритов, пироксенитов, пикритов). Технология каменного литья включает плавление сырья при 1400-1450°С, формование отливок, последующую их кристаллизацию и отжиг. Минеральную вату получают путем плавления сырья при 1500-1600°С и раздува расплава в стеклянные волокна. Химический состав сырья определяет температуру плавления, кристаллизационные свойства расплава и эксплуатационные свойства продукции.

Для производства каменного литья используют породы, содержащие (мас.%) 47-52 SiO_2, 11-14 Al_2O_3, 10-17 ($FeO+Fe_2O_3$), 5-12 CaO, 4,5-12 MgO, 1,5-3,8 Na_2O, 0,5-3,5 K_2O.

На основании исследования кристаллизационных свойств расплавов и стекол из горных пород Карелии и сложных шихт широкого диапазона составов, свойств каменного литья, практики камнелитейного производства для оценки однородности и качества петургического сырья по химическому составу применены две диаграммы: известная диаграмма П.Ниггли и предложенная нами катионная диаграмма Ca-Mg-(Fe^{2+}+Fe^{3+}). В методе П.Ниггли пересчет химического состава сырья ведется на группировки, каждая из которых включает несколько оксидов. Группировки являются основой для построения пироксенов, оливинов, плагиоклазов. При этом учитывается возможность вхождения CaO, Na_2O, Al_2O_3, SiO_2 (группа L) в плагиоклазы, часть которых при кристаллизации петургического расплава остается в стеклоообразном состоянии: SiO_2, CaO, MgO, FeO, Fe_2O_3 (группа M) – в оливины и пироксены; проявление SiO_2, избыточного по отношению к этим минералам – в виде остаточного стекла (Q).

Таким образом, диаграмма П.Ниггли отражает соотношение кристаллических и стеклообразных фаз.

Все изученные составы принадлежат трем сериям диаграммы П.Ниггли (рис.1). Составы 1-й серии лежат выше линии PF и характеризуется избыточным содержанием SiO_2 в нормативном составе. Предельное