

## Мончегорский интрузив: состав расплава (магмы), р-т состояния

Семенов В.С.<sup>1</sup>, Коптев-Дворников Е.В.<sup>2</sup>, Семенов С.В.<sup>1</sup>, Корнеев С.И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ИГГД РАН, svs1949@yandex.ru; <sup>2</sup>МГУ, ekoptev@geol.msu.ru; <sup>3</sup>Спб-ГУ, s.korneev@spbu.ru

В настоящем исследовании предпринята попытка реконструкции «доэрозионного» строения Мончегорского расслоенного интрузива, оценки состава исходной магмы (расплава) и условий ее кристаллизации. Задача решалась: (1). Простым сравнением строения Мончегорского интрузива с похожим на него аналогом. Для этого был выбран Киваккский расслоенный интрузив; (2). С помощью модельных построений с использованием пакета программ COMAGMAT (Арискин, Бармина, 2000; Николаев, Арискин, 2014).

Сводный разрез интрузива, предложенный авторами (рис. 1 а, табл. 1), базируется на данных петрохимии, представленных Центральной Кольской Экспедицией (скв. 791- г. Сопча, скв. 1204 — г. Нюд, скв. 1297 - г. Выручуайвенч). Распределение петрохимических типов пород в колонке Мончегорского массива интерпретированы как кумуляты.

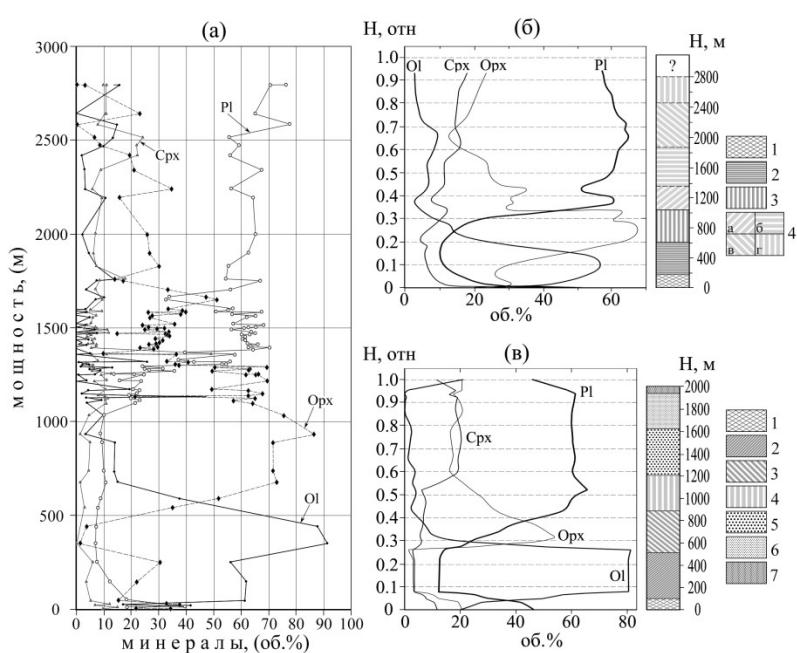


Рис.1. Строение вертикального разреза и кумулятивная стратиграфия интрузий Мончегорск и Кивакка. Нормативный состав пород вдоль вертикального разреза интрузива Мончегорск: (а) — без сглаживания, (б) — сглаженный, и в массиве Кивакка (в) - сглаженный. Использованы данные химических анализов пород расслоенных серий интрузивов. Содержания минералов - в об.%. Обобщенная схема вертикального строения Мончегорского интрузива (б): 1 – НКЗ, 2 - дуниты и гарцбургиты, 3 – бронзититы, 4 – мезомеланократовые нориты, 5 – мезо-лейкократовые нориты, 6 – переслаивание габбро-норитов и лейкократовых норитов, 7 – переслаивание анортозитов и лейкократовых норитов. Обобщенная схема вертикального строения интрузии Кивакка (в): 1- НКЗ, 2 - зоны оливинитов с гарцбургитами, 3 - бронзититов с подзоной ритмичного переслаивания бронзититов и норитов, 4 — зоной норитов, 5 - габбро-норитов и габбро-норитов с пижонитом.

мезо-лейкократовые нориты, 6 – переслаивание габбро-норитов и лейкократовых норитов, 7 – переслаивание анортозитов и лейкократовых норитов. Обобщенная схема вертикального строения интрузии Кивакка (в): 1- НКЗ, 2 - зоны оливинитов с гарцбургитами, 3 - бронзититов с подзоной ритмичного переслаивания бронзититов и норитов, 4 — зоной норитов, 5 - габбро-норитов и габбро-норитов с пижонитом.

Для того чтобы отчетливее проявились закономерности распределения кумулятивных минералов (рис. 1а) была проведена серия сглаживаний первичных распределений скользящим окном. Оптимальными оказались результаты десятикратного сглаживания трехточечным скользящим окном (рис. 1 б). В разрезе интрузива выделяются:

1. Нижняя приконтактовая зона, представленная габбро-норитами, норитами, пироксенитами, перидотитами. Мощность не менее 50 м;
2. Ультраосновная зона, представленная оливинитами (дунитами), гарцбургитами. Мощность не менее 550-600 м;
3. Зона бронзититов, оливиновых пироксенитов с «рудным горизонтом Сопчи» и прослойями меланократовых норитов. Мощность не менее 600-700 м;

4. Зона норитов с образованиями «Критического горизонта» и отдельными слоями габбро-норитов, анортозитов. Мощность порядка 1200 м. Зона норитов может быть подразделена на ряд подзон.

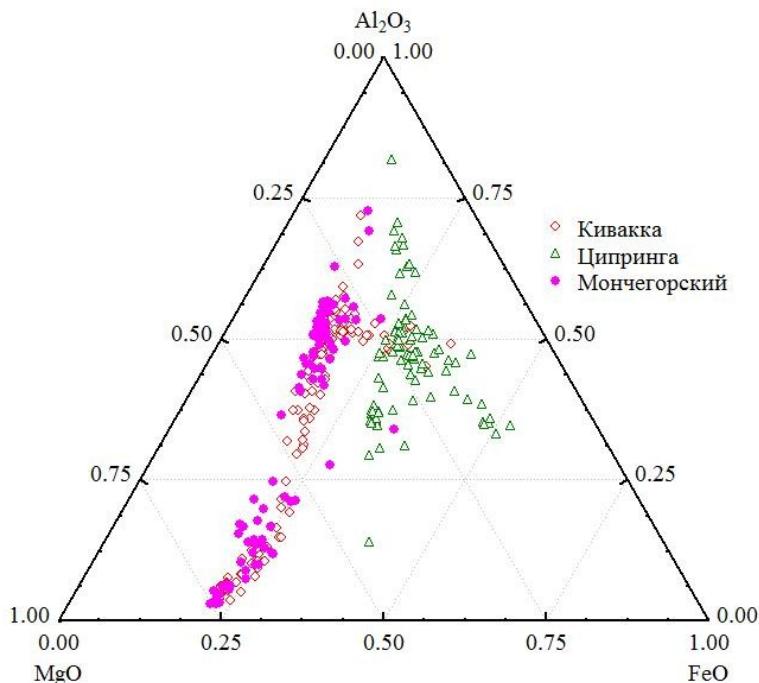


Рис.2. Области химических составов пород расслоенных массивов Кивакка и Мончегорского на тройных (петрохимических) диаграммах. Для сравнения приведены данные химизма пород для расслоенного троктолит-габбро-норитового интрузива Ципринга (Семенов и др. 1995).

**Сравнение вертикальных разрезов Мончегорского массива и расслоенного интрузива Кивакка.** Последовательность зон в вертикальном разрезе массива Кивакка отражает смена кумулятивных минералов:  $Ol \rightarrow Ol + Opx \rightarrow (-Ol) + Opx \rightarrow Opx + Pl \rightarrow Opx + Pl + Cpx$ . Порядок смены кумулятивных минеральных ассоциаций в вертикальных разрезах сравниваемых интрузивов имеет очевидное сходство. Сходство интрузивов подтверждается, кроме того, простым сопоставлением химических составов пород расслоенных серий, что предполагает и сходство магм сформировавших массивы (рис. 1, 2). При этом, известен состав магмы интрузии Кивакка, что дает основание для качественной оценки состава магмы Мончегорского интрузива.

Для идентификации и сравнительной характеристики пород Мончегорского интрузива и интрузии Кивакка использовался статистический метод – кластерный анализ. Была обработана выборка из 232 силикатных химических анализов, характеризующих все распространенные породы массивов. Эти же анализы использованы при построении сводных разрезов интрузивов и имеют привязку к их вертикальной координате. Кластерный анализ показал, что данные петрохимии, представленные в выборке, четко подразделяются на петрохимические виды, отвечающие эмпирическим критериям, т. е. эти кластеры могут быть интерпретированы как соответствующие кумуляты. В результате было выделено ряд групп пород (кластеров), которые объединили оливиниты, гарцбургиты, пироксениты (бронзититы), нориты и габбро-нориты. Полученные данные позволяют считать, что интрузии относятся к одному типу - назовем его «киваккским» (Лавров, 1979; Коптев-Дворников и др., 2001; Бычкова, Коптев-Дворников, 2007).

Распределение петрогенных элементов и «нормативных минералов» в Мончегорском интрузиве наглядно иллюстрируют, что настоящий разрез интрузива, опробован практически полностью (рис. 1а). Средневзвешенный химический состав интрузива Кивакка (табл. 1) интерпретируется как состав первичной магмы (Коптев-Дворников и др., 2001). Эти наблюдения позволяют дать оценку доэрзационной мощности Мончегорского массива.

Таблица 1. Состав магмы интрузии КИВАККА и средневзвешенные составы НП3-Н3 интрузивов

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Интрузия Кивакка состав магмы (Коптев-Дворников и др. 2012)	49.82	0.23	12.53	8.83	0.16	18.24	8.41	1.52	0.23	0.02
Интрузия Кивакка состав НП3-Н3 мощность 850 м)	47.99	0.15	8.28	9.98	0.16	27.50	5.19	0.58	0.14	0.02
Мончегорский интрузив (НП3-Н3, мощность 1900 м)	50.58	0.21	7.44	9.25	0.16	26.53	4.84	0.79	0.17	0.04

К решению этого вопроса подойти следующим образом: сравнить средневзвешенные химические составы пород зон НП3 (нижняя приконтактовая зона) — Н3 (зона норитов), представленных в Мончегорском интрузиве, и одноименных зон в интрузиве Кивакка полными вертикальными разрезами. Только содержанием SiO<sub>2</sub> различаются полученные средневзвешенные составы (табл. 1). Используя сходство вертикальных разрезов интрузивов, можно подойти к оценке мощности вертикального разреза Мончегорского интрузива, исходя из предположения, что отношения мощностей одноименных зон, выделенных по преобладающим кумулятивным ассоциациям минералов, имеют близкие значения. Так, мощности наиболее полно представленных зон в расслоенном массиве Мончегорск (М) и интрузиве Кивакка (К) представлены пироксенитами (бронзититами) с подзоной переслаивания бронзититов и норитов в интрузиве Кивакка ~ 700 м (М) и 400 м (К), зонами норитов ~ 1200 м (М) и 650 м (К). Отношение мощностей зон варьирует в пределах 0.57 – 0.54. Исходя из этих данных, зная мощность интрузии Кивакка (~2000 м), можно оценить мощность Мончегорского интрузива до эрозии, которая могла быть порядка 3700 м.

Таблица 2. Состав расплава «ГЛАВНОГО ВНЕДРЕНИЯ» Мончегорской интрузии

T°C	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Обр. 791/1123 5,5кбар, равновесный с расплавом оливин 88,27Fo (lgFO2 =-8,68)									
1354,9	55,87	0,55	11,64	9,70	12,25	8,81	1,53	0,31	0,06
Обр. 791/1123 6,5кбар, равновесный с расплавом оливин 89,07Fo (lgFO2 =-8,45)									
1388,0	54,61	0,53	11,11	9,96	13,58	8,41	1,46	0,29	0,06
Обр. 791/1123 6,5кбар, равновесный с расплавом оливин 90,06 Fo (буфер NNO)									
1395,3	54,24	0,52	10,85	10,22	14,19	8,21	1,42	0,28	0,05
Возможный состав расплава, при 6,5 кбар, равновесного с расплавом Ol 91,92Fo; кол-во тв. фазы (оливин, lgFO2 =-8,07) — 5,0% (Кивакка)									
1435,2	50,28	0,24	13,19	9,04	16,53	8,85	1,60	0,24	0,02
Обр. 791/1135; краевая группа (пограничный слой), Мончегорск									
-	50,8	0,4	10,25	9,52	16,44	8,33	1,30	0,20	0,04

По ряду признаков (последовательность кристаллизации кумулятивных фаз, химизм пород) было предположено, что магма, сформировавшая Мончегорский интрузив, близка по составу «киваккской» магме. Было показано, что химический состав обр 791/1135 (табл. 2), отобранного из краевой группы - пограничного слоя (проба отобрана в первых метрах от зоны закалки) Мончегорского интрузива, может отвечать составу «первичного расплава».

Существование такого слоя закалённой жидкой фракции магмы (лишенной взвешенных интрапеталлурических фаз) достоверно установлено для Довыренского интрузива, где этот слой прослеживается вдоль нижнего эндоконтакта на протяжении нескольких километров. Вероятной причиной сепарации взвешенных интрапеталлурических фаз являются гидродинамические эффекты при течении внедряющейся суспензии вдоль контакта.

Основываясь на этих предположениях, было оценено содержание интрапеллурического оливина и его состав, равновесный с возможной жидким фракцией материнской магмы (обр. 791/1135), используя в качестве валового состава этой магмы средневзвешенный состав Киваккского интрузива. В процессе моделирования равновесной кристаллизации исходной магмы Киваккского интрузива при температуре порядка 1435°C и давлении 6.5 кбар был получен состав расплава по своему химизму близкий составу обр. 791/1135. Интрапеллурический оливина при этом содержал порядка 92 мол % Fo, а его концентрация в магме при заданных условиях достигала 5 %.

**Моделирование равновесной кристаллизации** проводилось в безводных условиях при разных буферных равновесиях по мере последовательного увеличения закристаллизованности расплава с шагом в 1 мол.% .

Давление, существовавшего в магматической камере, оценивалось методом геохимической термометрии (Френкель, 1995; Арискин, Бармина, 2000). Испытывались разные условия давлений (пары проб обр. 1204-326-337, 1204-28-34). Последняя пара проб находится выше по разрезу норитовой зоны на 300 м. Из полученных результатов, наиболее удовлетворительные получены при  $P=6.5-5.5$  кбар и  $T=1260^{\circ}\text{C}$  (условия разделения кумулятивных фаз). Из статьи (Чащин, 1999) следует, что Мончегорский plutон кристаллизовался в интервале  $1250-1160^{\circ}\text{C}$  при давлении 7 кбар.

Исследование обр. 791/1123 с учетом давления 5.5 кбар показало, что кристаллизация Opx (кристаллизуется вторым после оливина) началась при  $T \sim 1355^{\circ}\text{C}$ . При этом состав оливина отвечал Ol с 88 мол % Fo. Состав равновесного ему расплава характеризовался повышенным содержанием  $\text{SiO}_2$  до 55 мас %. Моделирование при давлении 6.5 кбар появление Opx связывается с температурой  $1388^{\circ}\text{C}$ . Состав оливина отвечал 89 мол % Fo. Состав расплава также характеризовался высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  до 55 мас %. Моделирование в условиях буфера NNO показало не существенные вариации, полученного состава расплава по сравнению с составами, полученными в других условиях.

Таким образом, температура исходной магмы могла быть равна  $1355-1388^{\circ}\text{C}$ , если давление в магматической камере было не менее 6.5 кбар на момент внедрения - формирования магматической камеры, и начала кристаллизации. Были получены составы расплавов, равновесные с интрапеллурическим оливином, с использованием состава породы из краевой группы.

1. Арискин А. А., Бармина Г. С. Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм// М.: Наука, 2000. 365 с.

2. Николаев Г. С., Арискин А. А. Бураковско-Аганозерский расслоенный массив заонежья: II. Строение краевой группы и оценка состава родоначальной магмы методом геохимической термометрии// Геохимия. 2005. №7, с.712-732.

3. Коптев-Дворников Е. В., Киреев Б. С., Пчелинцева Н. Ф., Хворов Д. М. Распределение кумулятивных парагенезисов, породообразующих и второстепенных элементов в разрезе Киваккского интрузива// Петрология. 2001. № 6. С. 31-52.

4. Лавров М. М. Гипербазиты и расслоенные перидотит-пироксенит-габбро-норитовые интрузии докембрия Северной Карелии. Л. 1979. 136 с.

5. Семенов В. С., Коптев-Дворников Е. В., Берковский А. Н., Киреев Б. С., Пчелинцева Н. Ф., Васильева М.О. Расслоенный троктолит-габбро-норитовый интрузив Циппринга, Северная Карелия: геологическое строение, петрология // Петрология. 1995. Т. 3, № 6. С. 645-668.

6. Френкель М. Я. Тепловая и химическая динамика кристаллизации базитовых магм. М.:Наука. 1995. 239 с.

7. Чащин В. В. Пироксены Мончегорского перидотит-пироксенит-лейкогаббрового и Волчегорского габбро-анортозитового массивов //Записки ВМО. 1999. № 3. С. 101-111.