

Н. А. Франц

## ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫЕ ДАЙКИ ТИКШЕОЗЕРСКОГО КАРБОНАТИТОВОГО МАССИВА (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ) И ИХ ПЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Раннепротерозойский Тикшеозерский карбонатитовый комплекс-плутон является частью сложного полиформационного массива, включающего породы различных магматических серий (ультрабазитовой, расслоенной ультрамафит-мафитовой и фойдолит-фойдосиенит-карбонатитовой) [1].

Ранее было высказано предположение, что повсеместно распространенные дайки оливиновых мельтейгитов Тикшеозерского массива могут рассматриваться в качестве модельного состава родоначальной магмы карбонатитового комплекса [2]. В настоящей статье даны петрографическая и геохимическая характеристики щелочно-ультраосновных пород дайковой фации этого массива, проведено сопоставление их с близкими породами Кольской щелочной провинции, оценена глубина источника щелочно-ультраосновной магмы.

**Геология и петрография.** Порфиroidные оливиновые мельтейгиты, образующие дайки мощностью 0,3–1,6 м, прорывают породы якупирангит-уртитового ряда и одновременно встречаются в виде ксенолитов в карбонатитах. Это темные, почти черные породы, иногда с оливковым оттенком, обычно мелкозернистого, почти афанитового, сложения с порфиroidной структурой. Вкрапленники в них состоят из оливина и клинопироксена, примерно в равных соотношениях. Основная масса тонкопризматическизернистой структуры сложена преимущественно клинопироксеном, по которому развивается бурый амфибол, а также оливином, биотитом, магнетитом и апатитом, интерстиции заполнены нефелином, продуктами его изменения и карбонатом.

Вкрапленники оливина, размером до 1,5 мм в поперечнике, часто зональны: внутренние их части обычно округлены, а тонкая внешняя кайма стремится к характерному для оливина габитусу или же имеет неправильную форму. Судя по положительному углу оптических осей, оливин в ядре содержит не более 10% фаялитового компонента. Состав внешних частей вкрапленников остался не определенным. Можно предположить, что он несколько более железистый, но не сильно отличается от состава ядер (рис. 1). Некоторые вкрапленники оливина, кроме того, обнаруживают реакционные соотношения с основной массой породы, что выражается в образовании тонких каемок из мелких зерен клинопироксена. В оливине часто наблюдаются очень мелкие (сотые доли миллиметра) включения магнетита и коричневой шпинели.

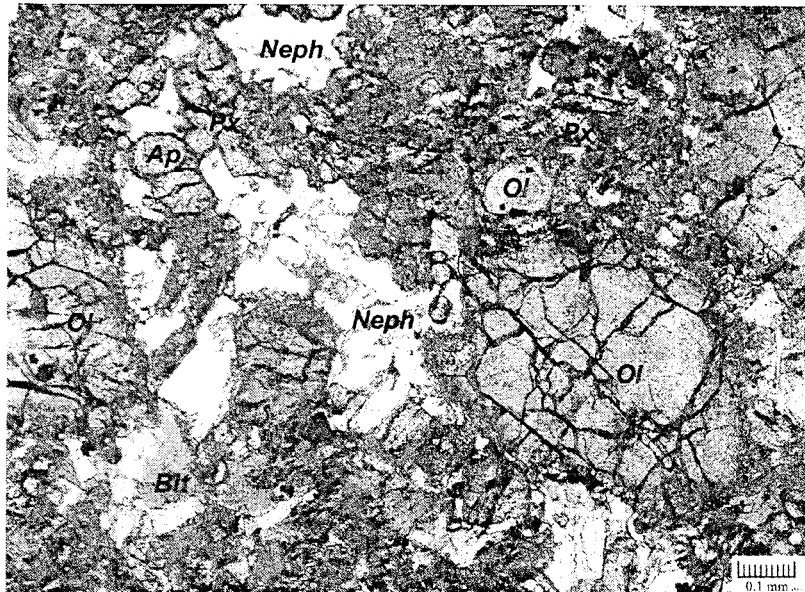


Рис. 1. Порфиroidный оливиновый мельтейгит (образец 1 в табл. 1; увел. 10, без анализатора).  
Ap – апатит, Px – пироксен, Ol – оливин, Neph – нефелин, Bit – биотит.

Таблица 1. Содержание петрогенных и редких элементов щелочно-ультраосновных дайковых породах Тикшеозерского массива

Компонент	Образцы						
	1	2	3 [6]	4 [6]	5 [6]	6 [6]	7 [6]
SiO <sub>2</sub>	39,7	39,30	41,1	42,2	40,2	37,59	42,33
TiO <sub>2</sub>	1,06	1,20	1,64	1,64	2,26	1,81	0,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,4	11,20	10,23	9,46	14,37	7,52	10,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,82	5,23	2,82	2,72	6,25	6,04	2,38
FeO	6,96	6,63	8,26	8,71	8,05	7,53	6,5
MnO	0,218	0,21	0,194	0,2	0,2	0,284	0,114
MgO	19,7	14,30	15,11	16,16	7,2	22,24	17,66
CaO	12,2	13,30	13,82	13,56	13,44	10,93	13,12
Na <sub>2</sub> O	2,38	2,40	2,15	1,65	4,25	1,03	1,72
K <sub>2</sub> O	1,22	1,30	1,16	1,21	2,83	1,4	2,28
H <sub>2</sub> O			0,09	0,08	0,09	0,31	0,36
п.п.п.	2,65	3,43	2,43	1,83	1,3	2,99	2,99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,51	0,42	0,35				
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,167		0,123	0,143	0,027		0,16
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0,049	0,046	0,038		0,02
С у м м а	98,99	98,92	99,53	99,61	100,51	99,67	100,33
Co					790	111	95
Ni					111	577	521
Cu						56	16
Zn			80	80	80	104	72
Pb	10,8						
Li			6	8	19	2	4
Rb	45		35	51	121	7	5
Cs	0,68		0,66	0,75	0,36	0,66	0,47
Ba	762						
Sr	1020						
Zr	141						
Hf	2,94						
Nb	65,2						
Ta	2,4						
Th	7,86						
Y	21,8						
U	1,74						
La	62,3						
Ce	123						
Pr	14,2						
Nd	52,3						
Sm	8,54						
Eu	2,54						
Gd	7,41						
Tb	0,91						
Dy	4,53						
Ho	0,72						
Er	1,88						
Tm	0,26						
Yb	1,69						
Lu	0,23						
Mg/Mg+Fe	0,77	0,69	0,71	0,72	0,68	0,75	0,78
K/Na+K	0,25	0,26	0,27	0,33	0,30	0,48	0,47

Примечание. 1-5 – порфиридные оливиновые мельтейгиты, 6,7 – щелочные пикриты.

Вкрапленники пироксена имеют правильные призматические формы, часто зональны: в центральных частях наблюдается почти бесцветный диопсид, а во внешних – буроватый авгит, видимо, титансодержащий. Некоторые вкрапленники имеют структуру песочных часов. Пироксен в основной массе близок по составу к пироксену внешних частей фенокритов, в обоих случаях замещается амфиболом, а иногда флогопитом-биотитом.

Зональное строение характерно также для тонких призматических кристаллов апатита, характерного второстепенного минерала описываемых пород.

Для всех изученных образцов порфировидных оливиновых мельтейгитов типично повышенное содержание карбоната. Помимо отмеченных интерстиционных форм, он нередко наблюдается в виде агрегатов типа заполнения пустот или миндалинов, а также монокристалльных выделений округлой формы, скорее напоминающих глобулы или вкрапленники.

Важно отметить, что охарактеризованные петрографические особенности дайковых оливиновых мельтейгитов, в частности зональность в оливине и его реакционные соотношения с расплавом, глобулярные (оцелярные) формы кальцита, тесно сближают описываемые породы с оливиновыми мельтейгит-порфирами Турьинского карбонатного плутона [3, 4] и с оливино-мелилитовыми меланефелинитами турьинской дайковой серии на Кольском полуострове [5].

В литературе описан еще один вид дайковых щелочно-ультраосновных пород Тикшеозерского массива, обозначенный термином «щелочные пикриты» [6]. Они наблюдаются в виде небольших даек мощностью до 0,5 м с резкими интрузивными контактами и иногда выраженными зонами закалки. Возрастное положение этих даек определяется тем, что они срезают жилы нефелиновых сиенитов, но сами пересечены карбонатитами.

Слагающие дайки – мелкозернистые, до микрозернистые в зальбандах, зеленовато-черные или темно-серые породы, в целом по приведенному описанию в [6] похожи на порфировидные оливиновые мельтейгиты, но содержат более крупные вкрапленники оливина и пироксена (до 1,5 см в поперечнике). В основной массе пород нефелин не выявлен, вероятно, из-за значительных вторичных изменений. Характерно широкое развитие флогопита в виде мелких чешуек и их агрегатов, а также более крупных пойкилитических зерен. Так же как и в порфировидных оливиновых мельтейгитах, наблюдаются глобулевидные выделения кальцита. В приконтактной части одной из даек в плотном стекловатом базисе обнаружены нацело замещенные вытянутые, прямоугольные в сечении шлифа зерна, по характеру выделения напоминающие мелилит [6].

**Геохимия.** По химическому составу породы дайковой фации являются ультраосновными щелочными породами, сильно обедненными кремнеземом и соответственно обогащенными щелочами (табл. 1). В распределении щелочей в рассматриваемых породах наблюдаются следующие соотношения: в порфировидных оливиновых мельтейгитах  $\text{Na}_2\text{O}$  преобладает над  $\text{K}_2\text{O}$ , а в щелочных пикритах отношение обратное – значительно преобладает калий над натрием.

Характерно повышенное содержание  $\text{MgO}$  в исследуемых породах, достигающее в щелочных пикритах 22,24%, что значительно выше, чем в щелочных силикатных породах массива [6] и оливино-мелилитовых меланефелинитах Турьего полуострова [7].

Количество  $\text{CaO}$  колеблется около 13% в оливиновых мельтейгитах, в щелочных пикритах оно достигает 16,61% при среднем содержании 12,79%. Эти значения несколько ниже, чем в щелочных силикатных породах фондолитовой серии Тикшеозерского массива [6]. Однако такие содержания дают при расчете достаточно большое количество нормативного ларнита.

Высокое содержание  $\text{K}_2\text{O}$  выражается в присутствии нормативного лейцита (табл. 2).

Таблица 2. Нормативные составы дайковых пород Тикшеозерского массива

Компонент	Образцы						
	1	2	3 [6]	4 [6]	5 [6]	6 [6]	7 [6]
ap	1,44	1,1	0,69				
il	2,11	2,4	3,29	3,26	4,34	3,61	0,94
mt	5,94	7,9	4,30	4,03	9,21	9,12	3,58
lc	6,06	6,4	5,40	5,80	13,35	6,78	10,80
ne	11,53	11,5	10,24	7,85	19,99	5,00	8,20
an	9,21	16,5	15,18	15,08	11,91	12,10	14,06
wo (di)	7,32	14,6	16,75	18,06	14,45	2,53	12,83
en (di)	5,26	10,2	10,86	11,81	10,24	11,44	9,64
fs (di)	1,41	3,2	4,76	4,99	2,96	1,37	1,91
fo (ol)	33,07	18,7	19,57	20,51	5,67	32,21	25,04
fa (ol)	5,88	2,5	4,61	5,10	1,14	4,01	5,96
cs	10,30	4,6	3,99	3,43	6,67	11,70	6,93
С у м а	99,53	99,58	99,62	99,92	99,94	99,87	99,90

Примечание. Объяснение 1–7 см. в табл. 1; ap – апатит, il – ильменит, mt – магнетит, lc – лейцит, ne – нефелин, an – анортит, di – диопсид, wo – волластонит, en – энстатит, fs – ферросилит, fo – форстерит, fa – фаялит, cs – ларнит.

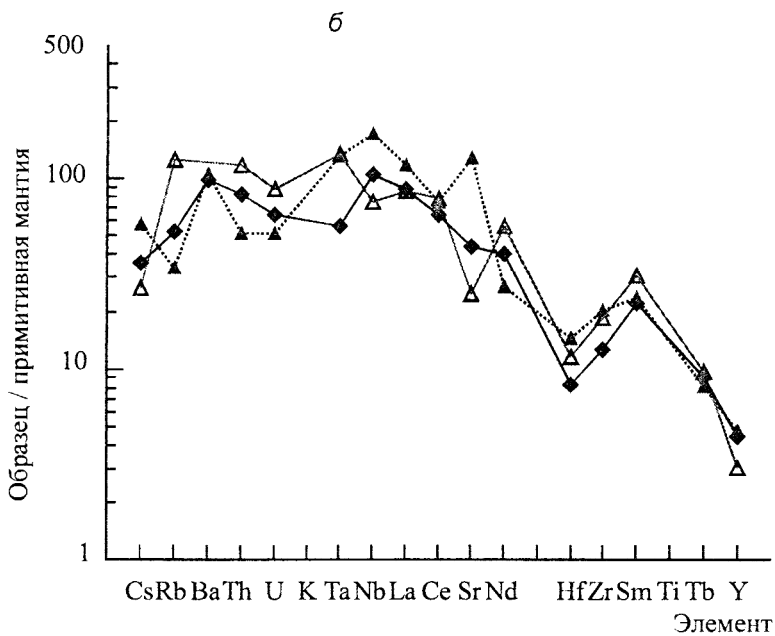
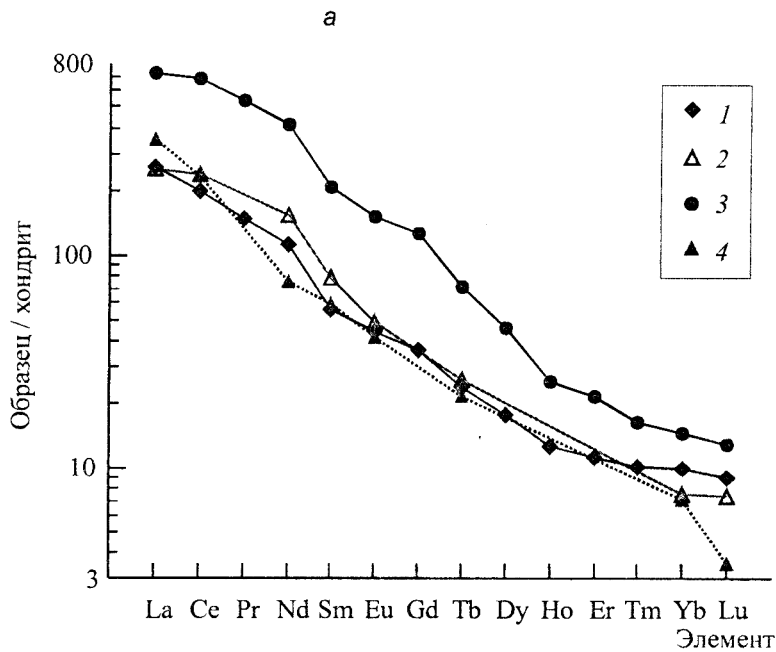


Рис. 2. Распределение редких земель (а) и спайдер-диаграмма распределения редких элементов (б) в породах Тикшеозерского массива.

1 - порфиридовый оливиновый мельтейгит; 2 - мельтейгит; 3 - карбонатит; 4 - оливиновый меланефелинит турьинской дайковой серии [5].

По распределению микроэлементов рассматриваемые породы соответствуют щелочным магматическим ассоциациям, для которых свойственна повышенная концентрация LIL и HFS элементов (рис. 2). На диаграммах показаны также тренды распределения соответствующих элементов для пород карбонатитового комплекса Тикшеозерского массива. Прослеживается закономерное увеличение концентраций микроэлементов от порфировидных оливиновых мельтейгитов даек к мельтейгитам и карбонатитам массива. Распределение редкоземельных элементов в целом носит сильно фракционированный характер, при значительном содержании легких редких земель, что типично для большинства щелочных магм, сопровождаемых карбонатитами. В частности, на рис. 2, а видно, что тренд распределения соответствует таковому в оливиновых меланефелинитах турьинской дайковой серии [7].

**Обсуждение результатов.** Рассмотренные петрографические и геохимические особенности щелочно-ультраосновных дайковых пород Тикшеозерского массива, а также рассчитанный на основе химических анализов нормативный состав этих пород дают основание сопоставлять порфировидные оливиновые мельтейгиты с оливино-мелилитовыми меланефелинитами. Кроме того, известно, что при содержании в химическом составе породы 10% нормативного ларнита породу относят к мелилититам [8]. Отмеченное присутствие мелилита в эндоконтактах даек подтверждает возможную принадлежность тикшеозерских щелочных пикритов к мелилитовым пикритам, выделяемым в качестве самостоятельного вида в ряде классификации [9].

По нашему мнению, важно, что магнезиальное число  $Mg/(Mg + Fe)$  в щелочно-ультраосновных дайковых породах массива равно в среднем 0,75, т. е. эти породы являются слабо дифференцированными и, вероятно, достаточно примитивными, чтобы находиться в равновесных условиях с мантийным перидотитом [10]. Очень близкие по составу оливиновые мельтейгит-порфиры на Турьем полуострове рассматриваются в качестве родоначальной магмы палеозойского комплекса ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии [11].

Все это наряду с геологическими данными, свидетельствующими о принадлежности гипабиссальных порфировидных оливиновых мельтейгитов к Тикшеозерскому фойдолит-карбонатитовому комплексу, дает нам право рассматривать указанные породы как модельные составы исходной магмы этого комплекса.

В работе был использован предложенный Д. Эгглером [10] на основе экспериментальных данных способ оценки глубины-давления магмогенерации путем расчета «мантийной нормы» в породах и последующих графических построений (рис. 3). Согласно расчету, давление и глубина образования порфировидных оливиновых мельтейгитов составляет приблизительно 25–30 кбар и 80–100 км. Таким образом, можно предполагать, что первичные расплавы протерозойского Тикшеозерского фойдолит-карбонатитового комплекса несколько более глубокие, чем первичные расплавы палеозойских карбонатитовых комплексов Кольского полуострова и Северной Карелии [7, 11].

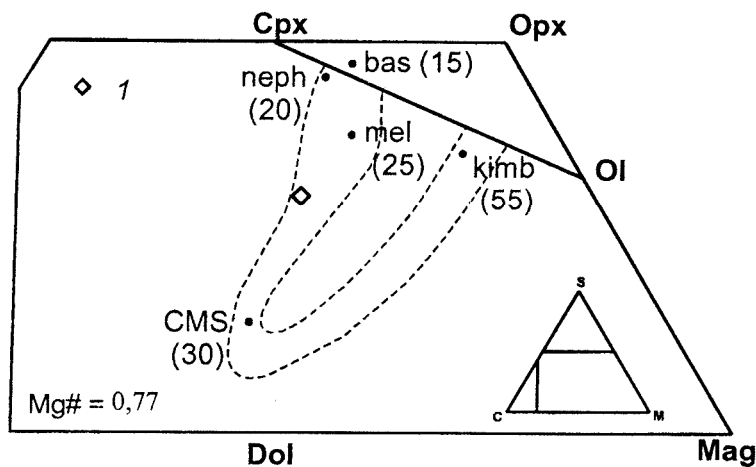


Рис. 3. Состав вероятной первичной магмы фойдолит-карбонатитового комплекса Тикшеозерского массива (порфировидный оливиновый мельтейгит, см. табл. 1) в проекции  $CaO-MgO(+FeO)-SiO_2$  (CMS).

Пунктирными линиями показан экспериментальный полибарический солидус в системе перидотит- $H_2O-CO_2$ . Калибровочные экспериментальные расплавы включают базантовое стекло (bas), нефелинит (neph), оливиновый мелилитит (mel), систему  $CaO-MgO-SiO_2$  и кимберлит (kimb). В скобках указано давление [10]. Cpx – клинопироксен, Opx – ортопироксен, Ol – оливин, Dol – доломит, Mag – магнетит.

Автор благодарит В. В. Иваникова за ценные советы и замечания при обсуждении работы.

## Summary

*Frantz N. A.* Alkaline-ultrabasic dykes of the Tiksheozero massif (Northern Karelia) and their petrological sense.

There are olivine-melanephelinites and alkaline pikrites between rocks of the dyke series of the Tiksheozero massive. Much attention is given to petrographical and geochemical characteristics of these rocks. Some conclusion of their petrogenesis is made on the basis of the chemical and normative composition of rocks of the dyke series.

## Литература

1. *Кащеева Н. А. (Франц Н. А.)* Некоторые особенности геохимии и минералогии карбонатитов Тикшеозерского массива (Северная Карелия) // Материалы конференции «Геология и геоэкология Фенноскандии, Северо-Запада и Центра России» / Под ред. А. И. Голубева. Петрозаводск, 2000. 2. *Иваников В. В., Франц Н. А.* О возрасте, тектонической позиции и происхождении карбонатитов Тикшеозерского массива в Северной Карелии // Материалы конференции «Глубинное строение и геодинамика Фенноскандии, окраинных и внутриплатформенных транзитных зон» / Под ред. А. И. Голубева. Петрозаводск, 2002. 3. *Кочурова Р. Н., Иваников В. В.* О природе оливиновых мельтейгит-порфиров Турьего полуострова // Вестн. Ленингр. ун-та. 1976. № 12. 4. *Кухаренко А. А., Орлова М. П., Булах А. Г.* и др. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. М., 1965. 5. *Рухлов А. С.* Дайки и трубки взрыва Кандалакшского грабена (Кольская щелочная провинция): модели магматических процессов и эволюции субконтинентальной мантии: Канд. дис. СПб., 1999. 6. *Сафронова Г. П., Богачев А. И.* Щелочные комплексы Карелии, их рудоносность и локальное прогнозирование (Северная Карелия, Приладожье): Промежуточный отчет Ин-та геологии Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1988. 7. *Ivanikov V. V., Rukhlov A. S., Bell K.* Magmatic evolution of the melilite-carbonatite-nephelinite dyke series of the Turiy peninsula (Kandalaksha Bay, White Sea, Russia) // J. of Petrology. 1998. Vol. 39, N 11–12. 8. *Классификация* магматических (изверженных) пород и слова терминов / Пер. с англ.; Под ред. С. В. Ефремовой. М., 1997. 9. *Магматические* горные породы. Классификация и номенклатура / Под ред. О. А. Богатикова. М., 1983. 10. *Eggler D. H.* Carbonatites, primary melts, and mantle dynamics // Carbonatites. Evolution and genesis / Ed. by K. Bell. London, 1989. 11. *Bulah A. G., Ivanikov V. V., Orlova M. P.* Overview of carbonatite-phoskorite complexes of the Kola Alkaline Province in the context of a Scandinavian North Atlantic Alkaline Province // Phoskorites and carbonatites from mantle to mine: the key of the Kola Alkaline Province / Eds. F. Wall, A. N. Zaitsev. London, 2004.

Статья поступила в редакцию 10 апреля 2006 г.