

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Отделение наук о Земле

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской революции
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского
(ГЕОХИ РАН)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экспериментальной минералогии
(ИЭМ РАН)

Российское минералогическое общество

ТРУДЫ
ВСЕРОССИЙСКОГО
ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
МИНЕРАЛОГИИ, ПЕТРОЛОГИИ
И ГЕОХИМИИ
(ВЕСЭМПГ-2019)

Москва, 16–17 апреля 2019 г.



Москва

**RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
Branch of Earth Sciences**

**Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry
of the Russian Academy of Sciences (GEOKHI RAS)**

Institute of Experimental Mineralogy (IEM RAS)

Russian mineralogical society

**PROCEEDINGS
OF RUSSIAN ANNUAL SEMINAR
ON EXPERIMENTAL MINERALOGY,
PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY
(RASEMPG - 2019)**

Moscow, 16–17 April 2019



Moscow

УДК 550.4:550.4.02:550.426:550.3:552.6:523.3:502.1
ББК 26.30 26.31
Т782

Ответственный редактор
проф. дгмн О.А. Луканин

**Заместитель
ответственного редактора**
проф. дгмн О.Г. Сафонов

Ответственный секретарь
Е.Л. Тихомирова

Редакционная коллегия

академик Л.Н. Когарко
чл.-корр. дхн О.Л. Кусков
чл.-корр. дгмн Ю.Б. Шаповалов
проф., дгмн А.А. Аriskин
дгмн А.Р. Котельников

проф. дхн Ю.А. Литвин
дхн Е.Г. Осадчий
дгмн Ю.Н. Пальянов
дхн Б.Н. Рыженко
кгмн О.И. Яковлев

Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Москва, 16–17 апреля 2019 года. / Отв. редактор О.А. Луканин, - М: ГЕОХИ РАН, 2019, 438 с. ISBN 978-5-905049-23-1.

Представлены краткие статьи по материалам докладов Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2019 года с описанием результатов оригинальных научных исследований, новых методов и идей, ориентированных на практическое решение широкого спектра проблем современной экспериментальной геохимии.

Editor-in-Chief

prof. Dr of Geol.-Min. Sci. O.A. Lukanin

Deputy

Editor-in-Chief

Prof. Dr of Geol.-Min. Sci. O.G. Safonov

Executive

Secretary

E.L. Tikhomirova

Editorial Board

Academician, Dr of Geol.-Min.Sci. L.N. Kogarko
Corr.memb, Dr of Chem.Sci. O.L. Kuskov
Corr.memb, Dr of Geol.-Min.Sci. Yu.B. Shapovalov
Prof., Dr of Geol.-Min.Sci. A.A. Ariskin
Prof., Dr of Geol.-Min.Sci. A.R. Kotel'nikov

Prof., Dr of Chem.Sci. Yu.A. Litvin
Dr of Chem.Sci. Eu.G. Osadchii
Dr of Geol.-Min.Sci. Yu.N. Pal'yanov
Dr of Chem.Sci. B.N. Ryzhenko
Cand.of Geol.-Min.Sci. O.I. Yakovlev

Proceedings of Russian Annual Seminar on Experimental Mineralogy, Petrology and Geochemistry. Moscow, 2019 April 16–17. / Ed. O.A. Lukanin, M.: GEOKHI RAS, 2019, 438 p. ISBN 978-5-905049-23-1.

The results of original research, new methods and idea focused on practiciable decides of wide specra of problems of modern experimental geochemistry are presented in short papers on materials of Russian Annual Seminar on Experimental Mineralogy, Petrology, and Geochemistry 2019.

ISBN 978-5-905049-23-1

© Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН), 2019

УДК 550.43

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА АМФИБОЛИЗАЦИИ В ГАББРОИДАХ ТИКШЕОЗЕРСКОГО МАССИВА (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)**Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Шаповалов Ю.В., Котельников А.Р., Калинин Г.М.**
(ИЭМ РАН), (tatiana76@iem.ac.ru)**THE SPECIFICATION OF AMPHIBOLIZATION PROCESS IN GABBROIDS OF TIKSHEOZERSKIY MASSIF (BY EXPEREMENTAL DATA)****Kovalskaya T.N., Varlamov D.A., Shapovalov Yu.B., Kotelnikov A.R., Kalinin G.M.**
(IEM RAS) (tatiana76@iem.ac.ru)

Abstract: Experimentally studied the formation of alkaline amphibole rims around grains of clinopyroxene (diopside-hedenbergite-augite composition) encountered in the study of mineral characteristics Tiksheozerskiy masisif. Gabbro from Lukkylaisvaara massif was used as a starting material, because it is less susceptible to secondary changes, in contrast to Tiksheozerskiy massif. In the experiments with a concentration of KCl and KF 1 M was obtained amphiboles range pargasite-cataphoric, the composition closest to the natural.

Keywords: amphibole, experiment, postmagmatic processes, alkaline massifs, gabbro

В пределах Фенно-скандинавского щита развитие амфиболитов по основным породам встречается довольно часто (Khodorevskaya, Varlamov, 2018, Safonov et al., 2014), однако, щелочная природа постмагматических изменений основных пород Тикшеозерского массива наиболее интересна.

Центральная часть массива сложена оливинитами, местами сильно серпентизированными и хлоритизированными, с вкраплениями алюмохромитов, реликтами оливина и клинопироксена. Основные породы представлены пироксенитами и габброидами, также довольно сильно измененными. Пироксениты сложены клинопироксеном (диопсид-геденберигит и авгит), флогопитом, титаномagnetом. В габброидах также наблюдается пироксен состава диопсид-геденберигит, плагиоклаз с долей анортитовой составляющей 70-75%, амфибол двух генераций, по составу отвечающий паргаситу и рихтерит-катафориту. Первый амфибол образует самостоятельные зерна, второй обнаружен в каймах вокруг зерен клинопироксена диопсид-геденберигитового состава, что, вероятно, является следствием постмагматического высокотемпературного изменения пород массива. Пример взаимоотношений клинопироксенов и амфиболов представлен на рис.2. В пределах одной породы встречаются амфиболы разного состава, что является следствием смены физико-химических условий формирования породы и потенциала щелочных компонентов.

Проведенный ранее парагенетический анализ и примененные на его основе геотермометры (Перчук, 1970) позволили рассчитать температуры образования амфиболовых парагенезисов. Температуры формирования амфибол-пироксеновых парагенезисов Тикшеозерского массива с применением клинопироксен-амфиболового, биотит-амфиболового и пироксен-биотитового геотермометров (Перчук, Рябчиков, 1976) оценены в интервале 710-980°C. Провести оценку давления образования амфиболовых кайм с помощью амфиболового геотермометра (Симакин, Шапошникова, 2017) не представилось возможным из-за щелочного характера амфиболов. Значения давления при формировании Тикшеозерского массива, исходя из литературных данных (Металлогения...2001), оцениваются как 3-4 кбар. Поэтому для реконструкции механизма и условий процесса амфиболизации габброидов Тикшеозерского массива была предпринята попытка его экспериментального моделирования при параметрах, схожих с расчетными. Подробно такая методика описана в работе (Сук и др., 2007). Изучение содалитсодержащих парагенезисов в породах более поздних фаз формирования Тикшеозерского массива и проведенная по полученным данным термометрия показали, что эти ассоциации формировались при температуре порядка 450°C (Устинов и др., 2006), Анионная группа в содалите представлена только ионом Cl⁻. Эти данные позволяют использовать в качестве флюида при моделировании процесса амфиболизации раствор KCl.

Для проведения экспериментов в качестве стартовых материалов были использованы измельченные габбро массива Луккулайсваара (Карелия), поскольку состав основных пород массивов Луккулайсваара близок по химическому составу к Тикшеозерским (табл. 1), при этом они существенно меньше подвергались вторичным изменениям в отличие от Тикшеозерского массива. В качестве флюидов использовались растворы KCl и KF концентрацией 0.5, 1M и 2 M соответственно.

Все опыты проводили в установках высокого газового давления с внутренним нагревом УВГД-10000.

Исходные материалы загружали в платиновые ампулы $\text{Ø}5 \times 0.2 \times 50$ мм или $\text{Ø}4 \times 0.1 \times 50$ мм, добавляли необходимое количество раствора флюида, взвешивали и заваривали. Снаряженные ампулы загружали в реакторы установок, вводили в режим и выдерживали при параметрах опытов 10 суток. Сначала реакционная смесь нагревалась до 1100°C при 3кбар, выдерживалась 3 часа, затем происходило изобарическое охлаждение до 850°C с последующей выдержкой в течение 10 суток.

В ходе проведенных двух серий опытов (с растворами KF и KCl концентрацией 0.5 М, 1 М, 2 М) были получены следующие результаты: продукты опытов представляли собой мелкокристаллическую массу (рис. 3, 4) зеленовато-серого цвета, при микроскопическом наблюдении четко выделялись отдельные кристаллиты.

Опыты с 0.5 М раствором KCl. Анализ продуктов опытов с концентрацией флюида 0,5 М KCl не выявил образования щелочных амфиболов. В интерстициях между новообразованными клинопироксенами находятся мелкие зерна калиевого полевого шпата.

Опыты с 1М раствором KCl. В опытах с такой концентрацией соли во флюиде получены клинопироксены ряда диопсид-геденбергит и амфиболы по составу соответствующие рихтерит-катафориту, наблюдаемым в габброидах Тикшеозерского массива (рис.3, 4, табл.2). Размер отдельных зерен достигает 100 мкм.

Опыты с 2М раствором KCl. Среди продуктов этой серии опытов отмечены щелочные амфиболы, сильно отличающиеся друг от друга по составу и единичные зерна клинопироксенов, в качестве акцессорного минерала встречен титаномagnetит.

Опыты с 0.5М раствором KF. Как и в опыте с 0.5 М KCl в качестве флюида, в этом опыте не наблюдалось каких-либо щелочных амфиболов. В продуктах опыта диагностированы выделения клинопироксена и флогопита. Размер кристаллитов в продуктах опыта не превышает 50 мкм.

Опыты с 1М раствором KF. Так же, как и в опытах с 1 М концентрацией KCl, в продуктах этих опытов диагностированы клинопироксены ряда диопсид-геденбергит (табл. 2) и щелочные амфиболы ряда рихтерит-катафорит. Однако амфиболы такого состава были встречены нами в ийолит-уртитовых Тикшеозерского массива. Возможно, на различия в составах амфиболов повлияла последующая постмагматическая карбонатизация массива.

Опыты с 2М раствором KF. В продуктах этих опытов наблюдалось образование заметного количества флюорита, что, по-видимому, связано с высокой концентрацией ионов F^- во флюиде, а также игольчатые выделения фторсодержащего флогопита.

Проведенные серии экспериментов показали следующие результаты: Процесс протекал на высокотемпературной постмагматической стадии при температуре порядка 850°C . Концентрация соли (KCl или KF) во флюиде при высокотемпературных постмагматических изменениях габброидов Тикшеозерского массива колебалась в пределах 1 М. При меньших концентрациях не происходило образование амфиболов, при больших – образовывались флогопит и флюорит. Одним из возможных механизмов амфиболлизации габброидов Тикшеозерского массива являлось отделение летучих при последующем внедрении щелочных пород, а именно ийолит-уртитов, на что указывает схожесть составов амфиболов поздней генерации в габброидах, в ийолит-уртитовых и в образцах, полученных в ходе проведенных экспериментов.

Таблица 1. Средний состав (мас.%) габброидов из массивов Луккулайсваара и Тикшеозерский

Компонент	Луккулайсваара	Тикшеозеро
SiO ₂	49.27	47.13
TiO ₂	1.03	3.16
Al ₂ O ₃	13.43	11.46
Cr ₂ O ₃	0.13	0.18
FeO*	14.94	13.98
MnO	0.14	0.67
MgO	5.21	5.98
CaO	6.24	7.02
Na ₂ O	4.35	6.16
K ₂ O	1.81	3.86
Total	99.56	99.60

Таким образом, полученные нами данные характеризуют температурный и флюидный режим формирования амфиболовых кайм вокруг клинопироксенов в габброидах Тикшеозерского массива, а также показывает, что комплекс дифференцированных пород массива мог образоваться в результате сложной эволюции гетерогенной флюидно-магматической системы.

Таблица 2. Составы (мас. %) амфиболов Тикшеозерского массива и синтезированных амфиболов

Компонент	Природные образцы	Экспериментальные образцы						
	пироксенит	габбро	габбро	ийолит-уртит	сиенит	карбонатит	Синтетический амфибол (1M KF)	Синтетический амфибол (1M KCl)
SiO ₂	44.08	41.33	43.27	49.10	40.21	51.91	47.18	46.12
TiO ₂	0.48	0.06	1.41	0.91	1.07	0.94	1.32	0.86
Al ₂ O ₃	11.20	17.28	10.91	6.53	14.30	4.06	12.78	10.42
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO*	16.43	20.44	18.57	13.23	19.38	13.75	14.94	15.91
MnO	0.00	0.13	0.05	0.00	0.19	0.09	0.25	0.03
MgO	11.81	6.36	10.81	15.60	9.06	14.70	12.32	13.81
CaO	13.47	11.96	9.00	8.68	10.93	7.30	6.14	8.01
Na ₂ O	1.29	1.85	5.16	5.43	3.57	6.66	2.24	3.71
K ₂ O	1.24	0.58	0.81	0.52	1.30	0.59	1.83	1,13
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

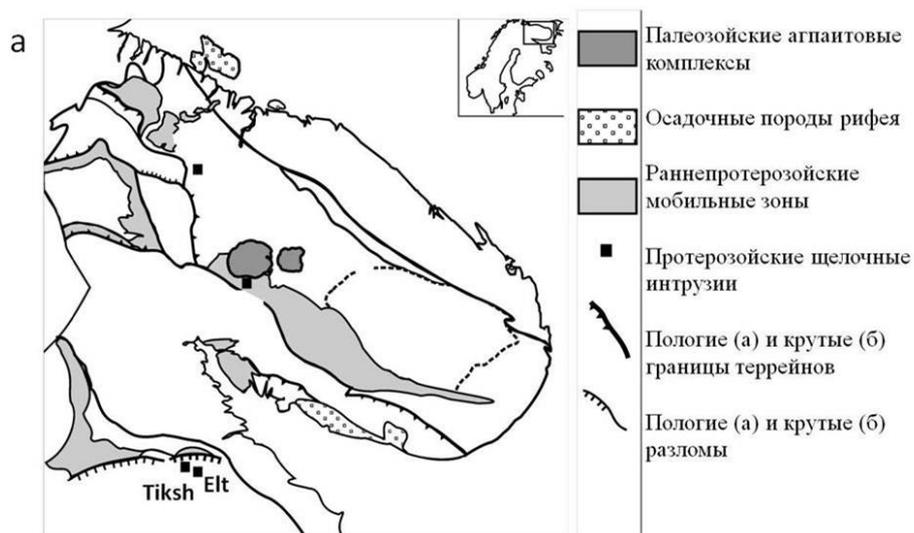


Рис. 1. Схематическое положение Тикшеозерского и Еletzозерского массивов.

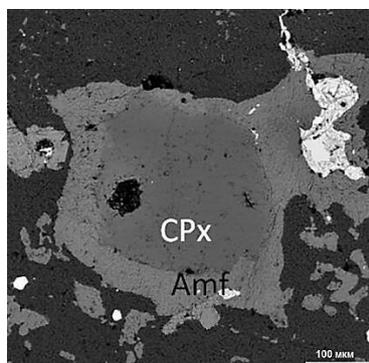


Рис. 2. Природные амфиболовые каймы вокруг клинопироксена.

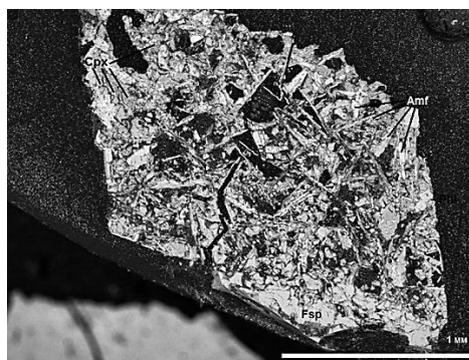


Рис. 3. Продукты опытов с 1 М раствором KCl при температуре 850°C и давлении 3 кбар.

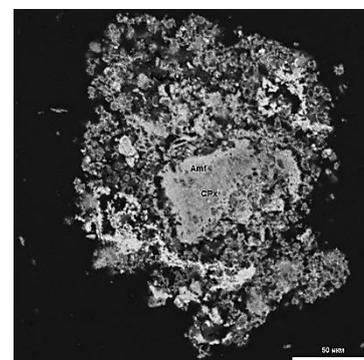


Рис. 4. Продукты опытов с 1 М раствором KF при температуре 850°C и давлении 3 кбар.

Литература

- Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Шаповалов Ю.Б., Калинин Г.М., Котельников А.Р. (2018) Экспериментальное исследование постмагматических процессов Тикшеозерского массива В сб. «Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии», ГЕОХИ, Москва, 207-210.
- Металлогения магматических комплексов внутриплитовых геодинамических обстановок. (2001) М.:ГЕОС, 640с.
- Сафронова Г.П. (1990) Породообразующие карбонаты и апатит Тикшеозерского массива В сб. «Новое в минералогии Карело-Кольского региона» Петрозаводск, 25–39.
- Устинов В.И., Гриненко В.А., Котельников А.Р., Сук Н.И., Ковальская Т.Н., Смирнова Е.П. (2006) Термометрия содалитсодержащих ассоциаций пород Ловозерского и Тикшеозерского щелочных массивов В сб. *Материалы Всероссийского совещания «Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород»*, Миасс, 267-272.
- Kovalskaya T.N., Varlamov D.A., Shapovalov Yu.B., Kalinin G.M., Kotelnikov A.R. (2018) Experimental study of postmagmatic processes in Tiksheozerskiy massif *Experiment in Geosciences* **24** (1), 117-120.