

10. Равич М.И. Водно-солевые системы при повышенных температурах и давлениях. М.: Наука, 1974. 151 с.
11. Реддер Е. Эволюция изверженных пород. Развитие идей за 50 лет. М.: Мир. 1983.
12. Сук Н.И. Жидкостная несмесимость в фосфорсодержащих расплавах в связи с генезисом апатитовых месторождений (экспериментальные исследования) // Петрология, 1993, т. 1, N 3, с. 282-291.
13. Чевычелов В.Ю. Распределение полиметаллов между гранитоидным расплавом, флюидно-солевой и флюидной фазами // Докл. РАН. 1992. Т. 325. № 2. С. 378-381.
14. Greig I.W. Immiscibility in silicate melts // Am.J.Sci. 1927. v.13. p.1-44.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛОПАРИТОВ В ЩЕЛОЧНЫХ ФЛЮИДНЫХ СИСТЕМАХ

Сук Н.И., Котельников А.Р.

*Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка Московской обл.
sukni@iem.ac.ru; kotelnik@iem.ac.ru*

Экспериментальные исследования фазовых равновесий в системе лопарит – нефелин [1, 2], а также в системе луювритовый расплав – лопарит [3] показали широкие поля кристаллизации лопарита в агпаитовом расплаве. Однако исследования проводились без участия летучих компонентов, в то время как флюидный режим зачастую является важным фактором развития магматического процесса и связанного с ним рудогенеза, что неоднократно отмечалось разными авторами [4, 5]. Под давлением воды были проведены лишь единичные опыты при $T=850$ и 750°C и $P=1$ кбар [3].

Настоящие экспериментальные исследования были поставлены с целью их приближения к природным условиям развития магматизма и рудообразования, неразрывно связанных с флюидным воздействием на магматические системы. Поэтому кристаллизация лопарита экспериментально изучалась в сложных силикатно-солевых системах, содержащих карбонат, хлорид, фторид или сульфат натрия. Опыты проводились на гидротермальной установке высокого давления с внешним нагревом и холодным затвором при $T=400^{\circ}\text{C}$ и $T=450^{\circ}\text{C}$ и $P=1$ кбар в течение 30 сут., $T=840^{\circ}\text{C}$ и $P=1.5$ кбар в течение 5-7 сут. и на установке высокого газового давления при $T=1200^{\circ}\text{C}$ и $P=2$ кбар при разной длительности (6 час. и 1 сутки) с последующей закалкой. Навеска состояла из эвтектической гелевой смеси альбита и нефелина с добавлением оксидов Nb, La, Ce, Y, карбонатов Ca и Sr и избытка оксида титана, который в большей части опытов помещался на дно ампулы, а также с добавлением соответствующей соли (или комбинации солей). Опыты проводились в присутствии воды (10 или 20 мас.% от массы навески).

Во всех изученных системах наблюдалось образование лопарита. Во многих кристаллах обнаруживается зональность, которая проявляется, главным образом, в изменении содержаний Ti, Nb, La, Ce, Y, Ca, Sr (рис. 1, табл. 1). Наблюдается кольцевая зональность, как прямая (с увеличением содержания ниобия, стронция и в меньшей степени натрия и уменьшением содержания титана и редких земель от центра к краю кристалла), так и обратная, а также «пятнистая» зональность. Возникновение полученной зональности, вероятно, связано с кинетическими особенностями процесса кристаллизации, поскольку условия в ходе эксперимента оставались неизменными. Полученная зональность сопоставима с зональностью природных кристаллов лопарита Ловозерского щелочного массива (рис. 2).

По аналогии с экспериментальными результатами можно предположить, что составы и зональность природных кристаллов лопарита наряду с другими факторами также могли быть обусловлены влиянием флюида сложного состава на кристаллизацию лопарита из расплава.

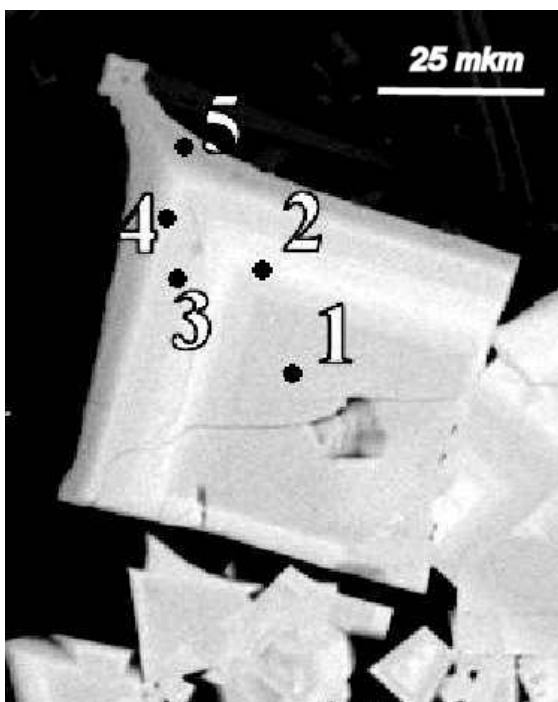


Рис. 1. Зональные кристаллы лопарита, полученные экспериментально при $T=1200^{\circ}\text{C}$ и $P=2$ кбар. Номера у точек соответствуют номерам зон в таблице 1. Фотография сделана в отраженных электронах.

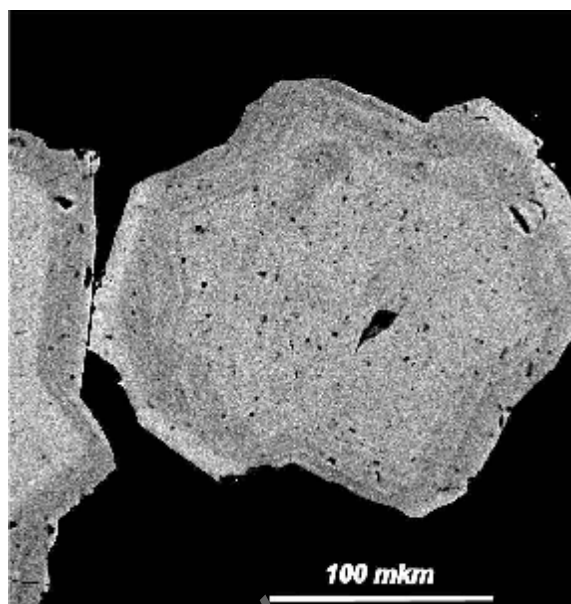


Рис. 2. Зональные кристаллы лопарита из лопаритсодержащих пород Ловозерского щелочного массива.

Таблица 1. Составы зональных кристаллов лопарита, полученных экспериментально при $T=1200^{\circ}\text{C}$, $P=2$ кбар. Номера у точек соответствуют номерам зон на рис. 1.

Оксиды мас. %	1 (центр)	2	3	4	5 (край)
SiO ₂	-	-	-	-	-
TiO ₂	45.73	41.52	44.80	43.41	42.85
Na ₂ O	7.61	8.87	8.39	7.46	7.25
CaO	5.43	2.84	4.54	4.12	7.30
SrO	5.98	3.71	5.25	5.28	8.44
La ₂ O ₃	12.05	14.73	12.57	12.64	4.78
Ce ₂ O ₃	12.91	15.50	13.72	13.76	4.55
Y ₂ O ₃	6.78	3.08	5.51	6.01	13.40
Nb ₂ O ₅	3.51	9.75	5.22	7.32	11.43

Исследование распределения петрогенных и рудных элементов между лопаритом и силикатным стеклом показывает, что Nb, Ti, Ca, Sr, и REE преимущественно концентрируются в кристаллах лопарита, а Na - в силикатном расплаве. Наиболее полно между лопаритом и расплавом разделяются редкоземельные элементы: минимальный коэффициент разделения лопарит/расплав для лантана составляет 75-83, а для церия - 98-100. Это соответствует значениям коэффициента разделения лопарит/расплав для этих элементов, приводимых в работе [6] - 80-135 и 100-157.

Проведенные исследования выявляют зависимость состава лопаритов от физико-химических условий их образования (солевой добавки в эксперименте), а также показывают возможность кристаллизации лопарита в природе в широком интервале температур.

При $T=840^{\circ}\text{C}$ и $P=1.5$ кбар наибольшее количество ниобия (до 15 мас.%) в составе лопарита отмечается в опытах с добавлением карбонатно-фторидного флюида, такие содержания ниобия характерны для лопаритов верхней части разреза Ловозерского массива - эвдиалитового комплекса. Средние содержания ниобия (6.5-7.5 мас.%) в лопарите

наблюдаются в опытах с флюидом, содержащим карбонат и хлорид или карбонат, сульфат и хлорид, и подобны содержаниям ниобия в лопаритах из дифференцированного комплекса Ловозерского массива. Наименьшее содержание ниобия (1.5-2.5 мас.%) в составе лопарита выявляется в опытах с чисто карбонатным составом флюида. При $T=1200^{\circ}\text{C}$ и $P=2$ кбар содержания ниобия в составе лопаритов в целом более высокие, чем при $T=840^{\circ}\text{C}$ и $P=1.5$ кбар, что, вероятно, можно объяснить большей транспортной способностью флюидной фазы при повышении температуры..

При низкой температуре ($400-450^{\circ}\text{C}$) кристаллизация лопарита проводилась в щелочной среде (с добавлением раствора NaOH). Получены мелкие выделения лопарита, в которых по содержанию ниобия прослеживается аналогичная закономерность. Это свидетельствует о важной роли фторидных комплексов для транспорта ниобия в щелочных системах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-05-64904 и гранта «Ведущие научные школы» НШ-2849.2006.5.

Литература

1. Векслер И.В., Когарко Л.Н., Кригман Л.Д. Фазовые равновесия в системе лопарит-нефелин // Геохимия. 1983. № 8, с. 1203-1208.
2. Векслер И.В., Когарко Л.Н., Сенин В.Г. Состав равновесных фаз в системе лопарит-нефелин // Геохимия. 1985. № 5, с. 599-607.
3. Векслер И.В., Когарко Л.Н., Кригман Л.Д., Сенин В.Г. Кристаллизация лопарита из лувритового расплава в сухих и водонасыщенных условиях // Геохимия. 1989. № 2, с. 181-191.
4. Летников Ф.А., Карпов И.К., Киселев А.И., Шкандрий Б.О. Флюидный режим земной коры и верхней мантии. М.: Наука. 1977. 216 с.
5. Маракушев А.А., Граменицкий Е.Н., Коротаев М.Ю. Петрологическая модель эндогенного рудообразования // Геология рудных месторождений. 1983. № 1, с. 3-20.
6. Kogarko L.N., Williams C.T., Wooley A.R. Chemical evolution and petrogenetic implications of loparite in the layered, aegirite Lovozero complex, Kola Peninsula, Russia // Mineral. and Petrol. 2002. V. 74, pp. 1-24.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕГАКРИСТАЛЛОВ ИЗ БАЗАНИТОВЫХ ТРУБОК ВЗРЫВА СЕВЕРО-МИНУСИНСКОЙ ВПАДИНЫ (ХАКАСИЯ, РОССИЯ)

Тимина Т.Ю., Мальковец В.Г.

*Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, timina@uiggm.nsc.ru,
vomal@uiggm.nsc.ru*

В щелочных базальтоидах широко распространены обломки крупных (более 1 см) мономинеральных включений – мегакристаллов. Большинство мегакристаллов представляют собой включения, родственные вмещающим базальтам, и являются продуктами фракционирования близкой по составу магмы на глубине. Для щелочных базальтов наиболее характерны мегакристаллы клинопироксена, полевого шпата, керсутита, изредка встречаются ортопироксен, флогопит, шпинель, гранат, ильменит, корунд, циркон и апатит.

В юго-западном обрамлении Сибирской платформы в пределах Северо-Минусинской впадины располагается верхнемеловой ареал щелочнобазальтового вулканизма, который представлен в настоящее время, в основном, корневыми системами вулканических аппаратов (жерловые фации, некки, дайки). В трубках взрыва Северо-Минусинской впадины представлен широкий спектр мегакристаллов, среди которых наиболее распространенными являются клинопироксен, полевой шпат и ильменит. В трубке Тергешская также встречаются мегакристаллы граната, а в трубке Бараджульская – биотита.