

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «СВЕРХПЛОТНЫХ» ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

О.В.Васюкова¹, В.И.Фонарев²

Институт Экспериментальной минералогии (ИЭМ), г.Черноголовка Московской области, Россия,
¹mruk@iem.ac.ru, ²fonarev@iem.ac.ru

Опыты по уплотнению флюидных включений проводились с кварцевыми столбиками, в которых предварительно при 700°C и 3кбар были синтезированы включения состава H₂O-CO₂. В качестве источника флюида использовалась щавелевая кислота. Опыты проводились в платиновых ампулах при 400°C, 3кбар и 700°C, 5кбар в течение 7 дней, летучесть кислорода поддерживалась буфером NNO. До и после опытов включения изучались под микроскопом и документировались с использованием цифровой камеры, видео- и компьютерной техники. Температуры гомогенизации (Th) и плавления (Tm) углекислоты измерялись в термодатчике Linkam (THMSG 600) с рабочим температурным интервалом от -195 до 600°C. Точность измерений соответствовала $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Синтезированные включения чаще всего плоские изометричные, нередко в разной степени ограненные, иногда более объемные и удлиненные. Все полученные

Таблица1. Моделирование изобарического охлаждения; термодатчикские данные

№ вкл	(-)Tm		Th	
	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта
1	62.2	60.8	10.3	10.0
2	62.2	60.4	12.0	11.0
3	61.2	59.6	13.6	13.4
4	60.4	60.0	15.7	16.9
5	60.1	56.9	16.4	-1.5
6	59.5	59.5	14.6	14.7
7	59.2	59.0	17.6	17.7
8	60.4	59.0	18.6	18.3
9	64.1	61.0	8.3	8.3
10	62.6	61.2	7.7	7.7
11	61.1	59.6	14.9	14.6
12	59.3	59.0	15.1	14.9
13	60.0	59.8	14.2	14.1
14	60.8	60.6	12	11.8
15	60.5	59.9	13.2	13.0
16	60.9	60.7	10.6	10.6
17	61.1	60.7	11.6	11.5
18	57.9	60.4	12.8	-3.5

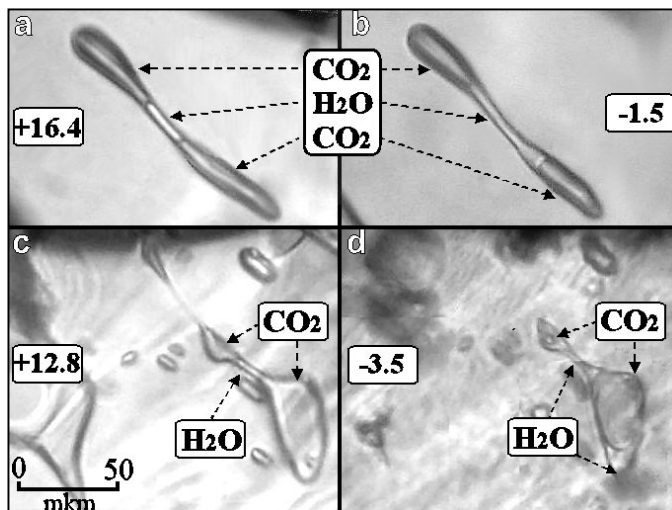


Рис.1. Два наиболее изменившихся включения; а,с - до опыта, b,d - после опыта. Цифрами обозначены температуры гомогенизации углекислоты.

включения имеют пониженные по сравнению с чистой углекислотой (-56,6°C) температуры плавления CO₂ (Таб.1,2), что указывает на возможную примесь метана. Это подтверждается данными Рамановской спектроскопии (ИМиП СО РАН, г.Новосибирск), в соответствии с которыми содержание метана в углекислоте варьирует от 4,2 до 5,4 мол.%. Объемные соотношения флюидных фаз (CO₂/H₂O) во включениях в среднем равны 0,9/0,1.

В условиях изобарического охлаждения (400°C, 3кбар) наиболее заметные изменения произошли в двух включениях, находящихся ближе других к поверхности образца. В них увеличился объем водной фазы и, соответственно, уменьшился объем углекислотной (рис.1), резко понизилась температура гомогенизации, и изменились температуры плавления углекислоты (№№ 5 и 18, Таб.1). При этом каких-либо изменений формы включений не произошло. Все это указывает на образование таких плотных включений не за счет переуплотнения первичных менее плотных разностей, а в результате проникновения через микродислокации более плотного внешнего флюида. Во включениях, более удаленных от поверхности образца, произошли менее заметные изменения. Объемное соотношение фаз визуально не изменилось. В некоторых включениях наблюдается изменение формы вакуоли: появились грани, острые углы, иногда неровные «изъеденные» границы. Если до опыта водная фаза обычно равномерно распределялась по стенкам вакуоли, то после опыта во многих включениях она сконцентрировалась в небольших «отростках». Температуры гомогенизации в целом не изменились (табл.1), а вот температуры плавления углекислоты во всех включениях повысились, что определенно указывает

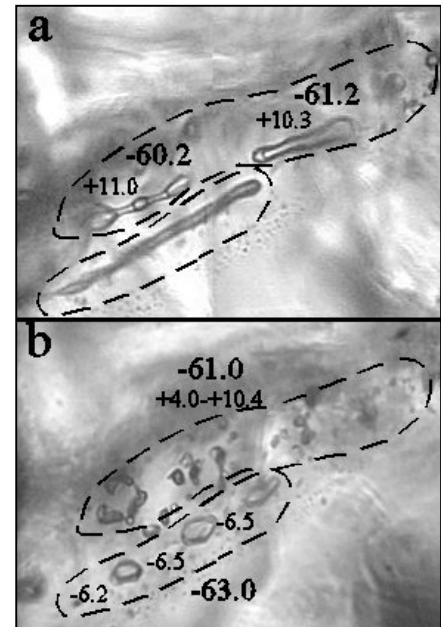
на уменьшение примеси метана, которое могло произойти либо в процессе селективной его потери, либо в результате привноса во включения новой обедненной метаном порции флюида. Отсутствие при этом заметного повышения Th может указывать на большую вероятность второго случая - «засасывание» через микродислокации внешнего флюида. Более удаленное положение этих включений относительно поверхности столбика, вероятно, не позволило достичь полного равновесия флюида во включениях с внешним флюидом.

При 700°C и 5кбар практически все включения расшнуровались с образованием большого количества мелких разностей (рис.2). Эти включения характеризуются заметно более низкими температурами гомогенизации и слегка пониженными, по сравнению с исходным образцом,

Таблица 2 700°C и 5кбар Термокриометрические данные.
Цифры в скобках – количество измерений.

группа вкл.	до опыта		после опыта	
	(-)Tm	Th	(-)Tm	Th
1	58.6-61.6 (8)	+6.2-+13.4 (13)	61.1-61.6 (5)	-8.8-+9 (11)
2	58.1-61.6 (19)	+4.4-+16.9 (23)	59.8-61.2 (10)	-8.1-+7.7 (38)
3	59.5-61.6 (8)	+4.9-+12.1 (8)	57.4-61.4 (8)	-3-+4.3 (15)
4	59.7-61.5 (7)	+6.2-+15.0 (11)	61.0 (1)	+0.7-+3.1 (9)
5	58.8 (2)	+11.9-+13.1 (10)	59.6 (4)	-6.6-+10.6 (12)
6	59.1 (1)	+12.9-+13.2 (3)	59.5 (1)	+10.8-+12.0 (3)
7	60.7-60.8 (4)	+7.9-+9 (6)	61.3-61.6 (5)	-1.8-0 (4)
8	58.4-59.7 (8)	+11.8-+13.6 (8)	57.5-62.1 (12)	-2.7-+11.5 (16)
9	58.7-59.7 (2)	+11.8-+12.5 (2)	59.3-61.3 (4)	-4.8-+12.1 (16)
10	58.6-58.8 (4)	+13.2-+14.3 (4)	59.3 (1)	+9.9-+10.4 (3)

Рис.2. Расшнурование флюидных включений в условиях 700°C и 5кбар; а – включения до опыта, б – после опыта. Пунктиром выделены участки, соответствующие одним и тем же группам включений. Цифрами обозначены температуры плавления и гомогенизации углекислоты.



температурами плавления углекислоты (табл.2). Наиболее крупные разности (относительно более плотные и с более низкими Tm) образовались при расшнуровывании включений, заполнявших крупные каналы (рис.2).

Теоретически уплотнение включений может происходить по двум причинам: либо в результате уменьшении объема вакуоли [1,2], либо за счет привноса во включения более плотного флюида [3]. Описанные выше эксперименты проводились в гидростатических условиях, в отсутствии стрессовых напряжений. В таких условиях уменьшение объема вакуоли за счет деформаций представляется мало вероятным. По крайней мере, при достаточно тщательном изучении включений каких-либо свидетельств такого изменения их объема обнаружено не было. В пользу гипотезы о «засасывании» внешнего флюида во включения говорит также изменение температур плавления углекислоты. Вероятно, более плотный внешний флюид, отличающийся по составу от внутреннего, проникал во включения через микродислокации и микротрещины, вызывая процессы растворения и переотложения вещества, что приводило к расшнуровыванию и уплотнению включений. При этом более легкий доступ внешнего флюида к крупным каналам обусловил их более интенсивное изменение.

Таким образом, экспериментальное моделирование подтвердило возможность образования плотных («сверхплотных») флюидных включений в результате захвата дополнительного флюида непосредственно из внешней среды. Пример такого «переуплотнения» включений был обнаружен при исследовании процессов чарнокитообразования и эволюции метаморфизма пород Кондалитового пояса Керала, Ю.Индия [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (по проектам № 02-05-06538, 01-05-65013, 01-05-65018)

Литература

1. Van den Kerkhof AM, Olsen S (1990) A natural example of superdense inclusions: microthermometry and Raman analysis. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 54: 895-901.

2. *Fonarev VI, Touret JLR, Kotel'nikova ZA* (1998) Fluid inclusions in rocks from the Central Kola granulite area (Baltic shield). *Eur J Mineral* 10:1181-1200;
3. *Fonarev et al.*, Fluid Evolution History and Exhumation Path of a high-grade Gondwana Fragment: The Trivandrum Granulite Block, Southern India. *Contributions to Mineralogy and Petrology* (in Press).

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(21) 2003

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2003 года (ЕСЭМПГ-2003)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/informbul-1/hydroterm-1.pdf

Опубликовано 15 июля 2003 г.

© Отделение наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2003

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на "Вестник Отделения наук о Земле РАН" обязательна