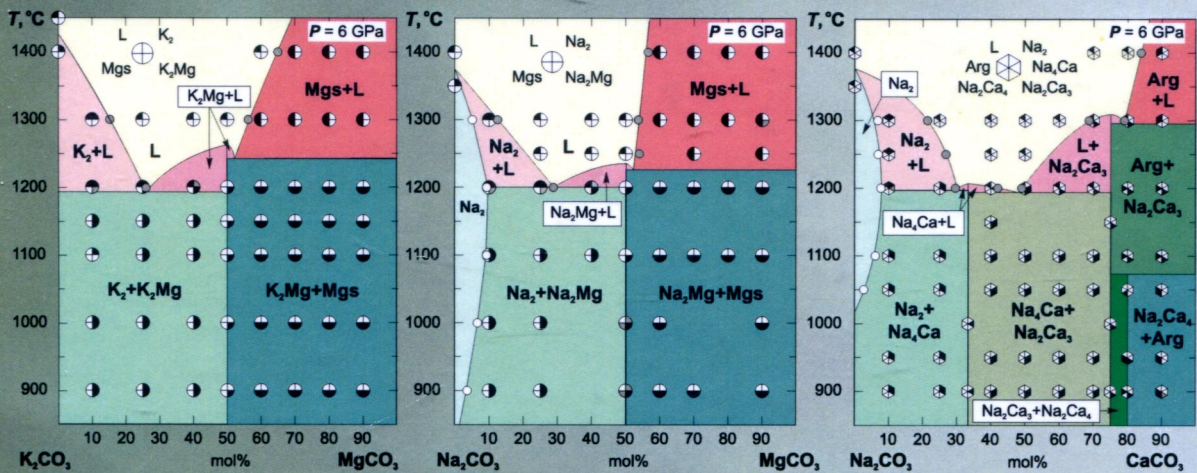


А.Ф. Шацкий К.Д. Литасов

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБОНАТОВ И МЕХАНИЗМ МИГРАЦИИ КАРБОНАТНЫХ РАСПЛАВОВ В МАНТИИ ЗЕМЛИ



ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ
ИМЕНИ В.С. СОБОЛЕВА СО РАН

А. Ф. ШАЦКИЙ

К. Д. ЛИТАСОВ

**УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КАРБОНАТОВ
И МЕХАНИЗМ МИГРАЦИИ КАРБОНАТНЫХ
РАСПЛАВОВ В МАНТИИ ЗЕМЛИ**



НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
2015

УДК 551.14
ББК 26.21
ШЗ1

Шацкий, А.Ф.

Условия образования карбонатов и механизм миграции карбонатных расплавов в мантии Земли / А.Ф. Шацкий, К.Д. Литасов; Ин-т геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2015. – 247 с.

Совокупность природных и экспериментальных данных указывает на активное участие карбонатов в мантийных процессах, связанных с частичным плавлением, зарождением и миграцией расплавов, метасоматозом, окислительно-восстановительными реакциями и образованием алмазов. Для моделирования этих процессов необходимы данные о термодинамической устойчивости кристаллических карбонатных фаз, температурах образования и составе близосолидусных карбонатных расплавов, механизме и скорости их миграции и движущих силах, обеспечивающих их сегрегацию. В настоящей работе приведены экспериментальные данные по фазовым взаимоотношениям в карбонатных системах. Охарактеризованы новые высокобарические карбонатные фазы, способные контролировать плавление в окисленных мантийных доменах. Установлены минимальные температуры образования карбонатных расплавов в системах с щелочными компонентами и тренды изменения их составов с температурой. Обоснован механизм миграции расплавов на глубинах свыше 150 км. С использованием экспериментальных данных по диффузии силикатных компонентов в модельных карбонатно-силикатных и водно-силикатных расплавах при P – T -параметрах переходной зоны и нижней мантии рассчитаны скорости миграции глубинных жидкостей в поле температурного градиента и механических напряжений.

Для специалистов в области экспериментальной петрологии и физической химии высоких давлений, а также аспирантов и студентов указанных специальностей.

Recent studies of mantle xenolith and kimberlites and experimental data on high pressure processes in the Earth's mantle have shown that carbonate minerals play a significant role in many mantle processes such as partial melting, migration of melts, mantle metasomatism, redox reactions, and formation and precipitation of diamonds. The knowledge of the thermodynamics of carbonate phases, in particular, their stability fields, the nature and composition of carbonated melts, and the mechanisms and driving forces of melt segregation is of special importance for the modeling of geodynamic and geochemical processes of magma generation in the mantle. In this book, we review experimental data on the phase and melting relations of carbonated systems, characterize new high-pressure carbonates, which control the melting of oxidized mantle segments and present the results of estimation of melting temperatures in the carbonated systems and the compositional trends of their derived melts at increasing temperatures. In addition, we propose a mechanism of dissolution-precipitation to provide the migration of melts through the mantle at depths below 150 km. Finally, based on the parameters of the diffusion of silicates in model carbonate-silicate and hydrous silicate melts at the PT -conditions corresponding to the mantle transition zone and lower mantle, we calculate the rate of migration of deep-seated liquids in a temperature gradient field and under an applied mechanical stress.

The monograph is addressed to specialists and students in experimental petrology and physical chemistry of high pressures.

Рецензенты:

А.Л. Перчук – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой петрологии Геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва)

О.Г. Сафонов – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией литосферы Института экспериментальной минералогии РАН (г. Черноголовка, Московская обл.), профессор кафедры петрологии Геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва)

ISBN 978-5-7692-1451-6

© Шацкий А.Ф., Литасов К.Д., 2015

© Оформление. Издательство СО РАН, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. КАРБОНАТЫ В МАНТИИ ЗЕМЛИ И ОБЗОР ПРЕДЫДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФАЗОВЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ В КАРБОНАТНЫХ СИСТЕМАХ.....	9
1.1. Свидетельства наличия карбонатов в мантии.....	9
1.1.1. Кристаллические карбонаты в мантии.....	9
1.1.2. Карбонатные расплавы в мантии.....	9
1.2. Состояние исследований фазовых взаимоотношений в карбонатных системах.....	13
1.2.1. Устойчивость простых карбонатов при высоких P - T -парамет- рах.....	13
1.2.2. Фазовые T - X -диаграммы бинарных карбонатных систем.....	19
1.2.3. Фазовые T - X -диаграммы тройных карбонатных систем.....	27
1.3. Заключение к главе 1.....	31
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ МИГРАЦИИ НАСЫЩЕННОГО РАСТВОРА В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОРОДЕ И МОДЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОРОДЫ В ПРИСУТСТВИИ МЕЖЗЕРНОВОГО РАСТВОРА.....	33
2.1. Механизм взаимодействия насыщенных растворов-расплавов с силикатной мантией.....	33
2.2. Модель миграции включений насыщенного раствора.....	34
2.3. Модели инфильтрации насыщенного раствора-расплава в «сухую» породу.....	36
2.4. Влияние механических напряжений на распределение расплава в породе.....	40
2.5. Модели деформации породы в присутствии межзернового раствора....	42
2.6. Заключение к главе 2.....	45
ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И МНОГОПУАНСОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ.....	46
3.1. Эксперименты на аппаратах Каваи.....	46
3.2. Методика калибровочных экспериментов.....	48
3.3. Результаты экспериментов по разработке увеличенной ячейки Каваи... 3.3.1. Генерация давления.....	50
3.3.2. Геометрия деформируемых уплотнений.....	53
3.4. Анализ тестовых экспериментов.....	56

3.4.1. Эффективность генерации давления.....	56
3.4.2. Относительные размеры ячейки и рабочих площадок.....	57
3.4.3. Деформируемые уплотнения.....	61
3.4.4. Ячейка высокого давления.....	67
3.5. Методика исследования фазовых взаимоотношений в карбонатных системах.....	70
3.5.1. Закалочные эксперименты на аппаратах Каваи.....	70
3.5.2. Закалочные эксперименты на аппаратах БАРС.....	75
3.5.3. Рентгенографические <i>in situ</i> эксперименты.....	78
3.5.4. Исходные вещества.....	80
3.5.5. Исследование продуктов экспериментов.....	80
3.6. Методика экспериментов по измерению коэффициентов диффузии.....	81
3.7. Заключение к главе 3.....	83

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ В КАРБОНАТНЫХ СИСТЕМАХ ПРИ 6 ГПА И 900–1700 °С.....

4.1. Система $MgCO_3$ – $FeCO_3$	85
4.2. Система $CaCO_3$ – $FeCO_3$	88
4.2.1. Плавление $CaCO_3$ и превращение кальцит–аргонит.....	95
4.2.2. Инконгруэнтное плавление, растворение и разложение $FeCO_3$	97
4.3. Система $CaCO_3$ – $MgCO_3$ – $FeCO_3$	99
4.4. Система K_2CO_3 – $CaCO_3$	101
4.5. Система K_2CO_3 – $MgCO_3$	106
4.6. Система K_2CO_3 – $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$	111
4.7. Система K_2CO_3 – $FeCO_3$	113
4.8. Система K_2CO_3 – $FeCO_3$ – $MgCO_3$	118
4.9. Система K_2CO_3 – $CaCO_3$ – $MgCO_3$	119
4.10. Система Na_2CO_3 – $CaCO_3$	129
4.10.1. Рамановские спектры Na–Ca карбонатов.....	135
4.10.2. Рентгеноструктурный анализ $Na_2Ca_3(CO_3)_4$	138
4.11. Система Na_2CO_3 – $MgCO_3$	139
4.11.1. Фазовая диаграмма Na_2CO_3	141
4.11.2. Структура $Na_2Mg(CO_3)_2$	145
4.11.3. Рамановские спектры γ - Na_2CO_3 и $Na_2Mg(CO_3)_2$	146
4.12. Система Na_2CO_3 – $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$	148
4.13. Система Na_2CO_3 – $FeCO_3$	148
4.14. Система Na_2CO_3 – $MgCO_3$ – $FeCO_3$	156
4.15. Система Na_2CO_3 – $CaCO_3$ – $MgCO_3$	157
4.16. Заключение к главе 4.....	164

ГЛАВА 5. СКОРОСТИ ДИФфуЗИИ СИЛИКАТНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ЩЕЛОЧНОМ КАРБОНАТНОМ РАСПЛАВЕ ПРИ ПАРАМЕТРАХ ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ МАНТИИ.....

5.1. Проблемы определения коэффициентов диффузии силикатных компонентов в глубинных расплавах.....	171
--	-----

5.2. Принцип определения коэффициентов диффузии растворенных веществ в расплавах и флюидах при высоких давлениях.....	173
5.3. Методика анализа экспериментальных образцов.....	175
5.4. Выбор модельных систем.....	177
5.5. Результаты экспериментов по измерению скорости массопереноса силикатных компонентов в карбонатном расплаве.....	178
5.6. Анализ экспериментальных данных.....	182
5.6.1. Стационарный и нестационарный массоперенос.....	182
5.6.2. Процесс, лимитирующий стационарный массоперенос.....	184
5.6.3. Диффузия силикатных компонентов в карбонатном расплаве....	184
5.7. Заключение к главе 5.....	188
ГЛАВА 6. ПРОИСХОЖДЕНИЕ МАНТИЙНЫХ КАРБОНАТНЫХ РАСПЛАВОВ.....	189
6.1. Частичное плавление карбонатизированной мантии.....	189
6.1.1. Плавление в системе эклогит–CO ₂	189
6.1.2. Плавление в системе лерцолит–CO ₂	190
6.1.3. Роль натрия в плавлении системы эклогит–CO ₂	191
6.1.4. Плавление системы лерцолит–CO ₂ в присутствии натрия.....	192
6.1.5. Температурные тренды изменения состава расплавов при частичном плавлении карбонатизированного эклогита и лерцолита...	195
6.1.6. Фазы-концентраторы калия в верхней мантии.....	195
6.1.7. Плавление системы лерцолит–CO ₂ в присутствии калия.....	197
6.1.8. Плавление карбонатизированного пелита в присутствии калия..	199
6.2. Механизм и скорость миграции карбонатитовых расплавов в мантии.....	201
6.2.1. Роль поверхностного натяжения и модель инфильтрации.....	202
6.2.2. Миграция расплава в поле температурного градиента	205
6.2.3. Миграция расплава, обусловленная $\Delta\mu$ стабильной и метастабильной фазы.....	205
6.2.4. Миграция расплава в поле механических напряжений.....	206
6.2.5. Пластификация пород в присутствии межзернового расплава...	208
6.3. Заключение к главе 6.....	210
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	211
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	213
ABSTRACT.....	241