

СИСТЕМА $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ – $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ – $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ ПРИ 7–24 ГПа И 1600–2250°C: МОДЕЛИРОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ И ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ

Бобров А.В. (геол. ф-т МГУ), Литвин Ю.А. (ИЭМ РАН),

Коджитани Х., Акаоги М. (Ун-т Гакушуин, Токио)

archi3@yandex.ru

Ключевые слова: мантия, переходная зона, фазовые превращения, пироксен, эклогит, мэйджорит

Система диопсид-геденбергит-жадеит традиционно вызывает интерес петрологов, так как омфациит является главным компонентом эклогитов-продуктов высокобарного метаморфизма базальтов. Минералы эклогитов также пользуются широким распространением среди включений в природных алмазах из кимберлитов и лампроитов. Считается, что набор минеральных включений в алмазе отражает фазовые равновесия на глубинах 150–200 км, отвечающих давлениям ~5,5–7 ГПа. Однако в течение двух последних десятилетий были описаны алмазы, захваченные на еще больших глубинах в пределах переходной зоны (410–660 км) и нижней мантии [1]. Эти включения представлены ультравысокобарными минеральными ассоциациями мэйджорита, CaSiO_3 и MgSiO_3 перовскита, ферропериклаза, магнезиовюстита. Судя по присутствию богатого Na и Si мэйджорита, в наиболее глубинных частях верхней мантии и переходной зоне выделяется эклогитовый слой, что противоречит модели однородной, динамичной Земли пиролитового состава [2]. Экспериментальное изучение системы $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ – $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ – $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ при 7–24 и 1600–2250°C было проведено нами с целью уточнения границы пироксен-гранатового перехода в зависимости от состава пироксена и установления влияния $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ геденбергита на фазовые отношения в эклогитах при высоких давлениях.

Фазовые отношения в системе $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (Di)– $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ (Hd)– $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ (Jd), моделирующей природные минеральные ассоциации эклогитов, были изучены для составов $\text{Di}_{70}\text{Jd}_{30}$, $\text{Di}_{50}\text{Jd}_{50}$, $\text{Di}_{30}\text{Jd}_{70}$, $\text{Di}_{20}\text{Hd}_{80}$ и $\text{Di}_{40}\text{Hd}_{60}\text{Jd}_{50}$ (мол.%) в ИЭМ РАН на аппарате типа «наковальня с лункой» (7 ГПа) и в Университете Гакушуин (Токио, Япония) с использованием аппарата высокого давления типа «разрезной цилиндр» (12–24 ГПа).

Фазовые отношения в системе Di–Jd при 7 ГПа характеризуются формированием непрерывной серии твердых растворов (рис. 1). Диаграмма построена на основании полученных нами температур плавления краевых членов. При 1980°C (опыт 1058) образуется агрегат игольчатых кристаллов диопсида, представляющий собой продукт закалки расплава. Полное плавление жадеита, приводящее к образованию однородного прозрачного стекла, происходило при 1870°C (опыт 1073). Для промежуточных составов при высоких температурах были получены закалочные кристаллы пироксена, отвечающие полному плавлению (опыты 1125, 1126, 1037, 1091 и 1079). В результате проведенных экспериментов была построена линия ликвидуса, ниже которой в образцах обнаруживались порфиновые кристаллы клинопироксена (20–50 мкм), погруженные в богатое Jd стекло или агрегат закалочных скелетных кристаллов. Порфиновые кристаллы клинопироксена обогащены диопсидом и содержат значительную примесь $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ Са-Чермака и $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ клиноэнстатита относительно стартовых составов клинопироксена $\text{Di}_{70}\text{Jd}_{30}$ (опыт 1093), $\text{Di}_{50}\text{Jd}_{50}$ (опыт 1042), and $\text{Di}_{30}\text{Jd}_{70}$ (опыт 1077). Межзерновые стекла содержат повышенное количество Si и примесь Na, что позволяет рассматривать данную систему как псевдобинарную. Предварительные эксперименты в содержащих Fe системах $\text{Di}_{80}\text{Hd}_{20}$ и $\text{Di}_{40}\text{Hd}_{60}\text{Jd}_{50}$ показали, что добавление $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ не влияет на полную смесимость пироксеновых компонентов при 7 ГПа, а температура ликвидуса снижается до 1790 и 1820°C для составов $\text{Di}_{80}\text{Hd}_{20}$ и $\text{Di}_{40}\text{Hd}_{60}\text{Jd}_{50}$ соответственно.

Фазовые отношения в системе $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ – $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ при 1600°C и 12–24 ГПа показаны на рис. 2. Ниже 13 ГПа стабилен только клинопироксен $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ – $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ (Cpx_{ss}), который при повышении давления разлагается с образованием ассоциации граната (Grt) и стишовита (St). Появление граната (мэйджорита) зависит от состава исходного Cpx: первые кристаллы Grt возникают при 13.5 ГПа в Jd-части системы ($\text{Di}_{30}\text{Jd}_{70}$), а в Di-части ($\text{Di}_{70}\text{Jd}_{30}$) Grt возникает выше

17 ГПа. Количество Grt быстро возрастает с 18 ГПа, когда Px растворяется в структуре Grt, и в Di-части системы возникают гранатиты. Появление Grt всегда сопровождается St. В богатых Di системах ($\text{Di}_{70}\text{Jd}_{30}$, $\text{Di}_{50}\text{Jd}_{50}$) выше 18.5 ГПа всегда образуется CaSiO_3 (рентгеноаморфная фаза, предположительно со структурой перовскита, Ca-Pv) вместе с Grt и St, продуктами разложения пироксена при ~18 ГПа. При 24 ГПа в системе $\text{Di}_{70}\text{Jd}_{30}$ были получены Grt, Ca-Pv, St и MgSiO_3 ильменит (Mg-Il) в результате дальнейшей диссоциации Grt.

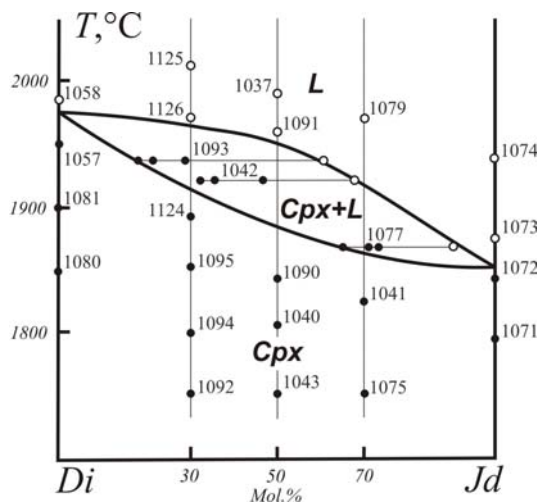


Рис.1. T–X фазовая диаграмма системы $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6\text{--NaAlSi}_2\text{O}_6$ при 7 ГПа. Точками показаны составы клинопироксена, полые кружки отражают состав расплава, сосуществующие фазы соединены коннодами.

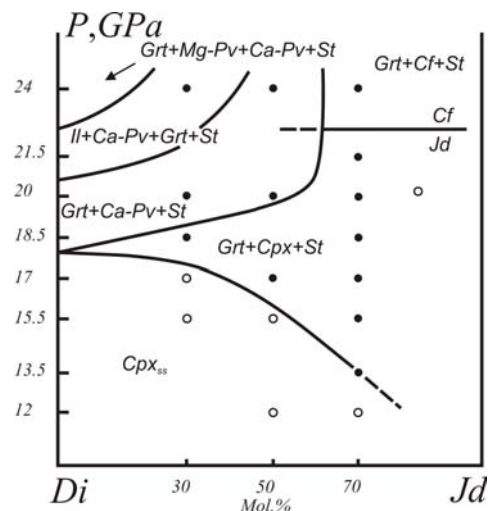


Рис.2. P–X фазовая диаграмма системы $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6\text{--NaAlSi}_2\text{O}_6$ при 1600 °C. Точками отмечены парагенезисы с гранатом, полыми кружками – без граната.

Составы сосуществующих Crx и Grt при 13.5–21.5 ГПа и 1600 °C сильно зависят от давления. Содержание Jd в Crx растет с давлением, достигая максимального значения (95 мол.% $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$) при 21.5 ГПа для состава $\text{Di}_{30}\text{Jd}_{70}$. Богатый Jd омфацил стабилен до более высоких давлений, чем богатый Di пироксен, и замещается ассоциацией $\text{NaAlSiO}_4 + \text{St}$ при ~22 ГПа. NaAlSiO_4 имеет структуру кальциоферрита (Cf) и содержит до 20 мол.% MgAl_2O_4 . Мы провели серию экспериментов с целью оценки влияния давления на состав мейджорита. С ростом давления Grt, содержащий ~3 ф.е. Si^{4+} , обедняется Al и обогащается Si (до 3,619 ф.е. Si^{4+}) и Na (до 0,735 ф.е. Na^+), так что содержание энстатита и Na-Px в составе мейджорита увеличивается.

Эксперименты с составами, богатыми Fe ($\text{Di}_{80}\text{Hd}_{20}$ и $\text{Di}_{40}\text{Hd}_{10}\text{Jd}_{50}$), показывают, что Grt в ассоциации с St и Crx устойчив при 15.5 ГПа в Jd-части системы. При 20 ГПа Crx исчезает, а Grt начинает разлагаться с выделением Ca-Pv. В исходной смеси $\text{Di}_{80}\text{Hd}_{20}$ возникает Crx совместно с Grt, Ca-Pv и St, что свидетельствует о стабилизирующем влиянии $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ (аналогично Jd) на устойчивость пироксена. При 24 ГПа Grt частично разлагается с образованием Ca-Pv и Mg-Il.

Результаты наших экспериментов применимы к переходной зоне Земли (410–660 км), свидетельствуя о широком поле перехода от эклогита к гранатиту. Кроме того, полученные минеральные ассоциации моделируют парагенезисы включений в природных алмазах, образовавшихся в условиях переходной зоны и нижней мантии.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты 04-05-64979, 05-05-64101) и Программы РАН 27-П

Литература

1. Stachel T. Diamonds from the asthenosphere and the transition zone // Eur. J. Mineral. 2001. V.13. PP. 883–892.
2. Ringwood A.E. Phase transformations and their bearing on the constitution and dynamics of the mantle // Geochim. Cosmochim. Acta. 1991. V. 55. PP. 2083–2110.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(24) 2006

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2006)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2006/informbul-1_2006/term-2.pdf

Опубликовано 1 июля 2006 г

© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2006

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