

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук Искриной Анастасии Витальевны на тему: «Фазовые отношения в системах с участием оксидных фаз переходной зоны и нижней мантии Земли» по специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология»

Представленная диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем составляет 96 страниц, включая 33 рисунка и 25 таблиц. В списке литературы 169 наименований, из которых большинство – зарубежные работы.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются его цель и задачи, рассматривается научная новизна и практическая значимость его результатов, приводятся сведения об апробации работы и публикациях.

Экспериментальное изучение структурных особенностей высокоглиноземистых соединений, в том числе, оксидных фаз с постшпинелевыми структурами при температурах и давлениях переходной зоны и верхней мантии является одной из основ для реконструкции структуры и состава глубинных оболочек Земли. Эта тема является весьма **актуальной** так как дает возможность оценить состав переходной зоны и нижней мантии Земли.

**Целью** данной работы является установление условий и механизма образования, выявление особенностей структуры и состава постшпинелевых фаз в широком диапазоне давлений (12–22 ГПа) при постоянной температуре (1600°C) в модельных системах CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а также выявление механизмов перераспределения трехвалентных ионов алюминия и железа между мантийными фазами CaCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> с помощью метода полуэмпирического моделирования при давлениях 18–25 ГПа и температурах 1600–1950°C.

В первой главе представлен весьма детальный обзор литературных данных о природных постшпинелевых фазах высокого давления, дается краткая характеристика экспериментально изученных систем, приводятся особенности твердых растворов постшпинелевых фаз, которые могут быть потенциально устойчивы в переходной зоне и нижней мантии Земли, что наглядно показано на Рис. 2 и сведено в Табл. 2 и 3.

Вторая глава диссертации посвящена изложению методики экспериментов. Из нее видно, что автор уверенно ориентируется как в многопуансонных аппаратах высокого давления, так и в алмазных наковальнях, в том числе, с использованием синхротронного излучения. Автор детально описывает использованные методы изучения результатов эксперимента: электронную микроскопию, электронно-зондовый анализ, монокристалльную рентгеновскую дифракцию и т.д.

В третьей главе детально рассмотрены результаты экспериментов в системах  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ . Автор диссертации не ограничивается только экспериментом, но и знакома с методами кристаллохимического моделирования бинарных твердых растворов, которые она применила к системам  $\text{CaCr}_2\text{O}_4\text{-CaAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CaCr}_2\text{O}_4\text{-CaFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-MgAl}_2\text{O}_4$  и  $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-MgFe}_2\text{O}_4$  в диапазоне давлений 18-25 ГПа и температур 1600–1950°C.

Заключительная четвертая глава диссертации подводит итог проведенных исследований. В результате детального обсуждения полученных данных автор формулирует три защищаемых положения, которые рецензент считает вполне обоснованными и достоверными. Что касается влияния спинового перехода в железе на резкое уменьшение объема фазы  $\text{CaFe}_{1.2}\text{Al}_{0.8}\text{O}_4$  при давлении порядка 50 ГПа и выше, то у меня возникает вопрос: были ли отмечены такие скачки давления в высокабарной минералогии ранее?

Замечания к работе.

Для экспериментов была выбрана температура 1600°C градусов, что примерно соответствует значениям мантийной адиабаты на данных глубинах (350–650 км), однако исходя из текста можно предположить, что моделируются процессы, которые могут происходить в базальтовом слое погружающейся океанической плиты. Температуры даже горячей субдукции будут на этих глубинах примерно на 200 градусов ниже. Понятно, что изучаются фазовые отношения, но в таком случае надо оценить, насколько их можно напрямую транслировать на геологические процессы. И отсюда встает вопрос, на основании чего был сделан выбор температурного режима при проведении экспериментов. Тем более, что в литературном обзоре показано как сильно может влиять температура на фазы изоструктурные шпинели.

В главе 1 приводится описание модели погружения субдуцирующей плиты в глубинную мантию, где плита представлена как базальтовая кора, а мантия как пиролит. Такая модель кажется немного странной, так как субдуцирующая плита — это базальтовый слой и гарцбургитовый слой, причем преимущественно гарцбургитовый.

Также в обзорной главе 1 следовало бы добавить ссылки на находки фаз с постшпинеливыми структурами в природных образцах несмотря на то, что они более подробно описаны в разделе 1.1.

Есть некоторые шероховатости повествования, которые путают читателя. По тексту разнятся диапазоны экспериментальных давлений, в которых проводились исследования. Где-то это 12-22 ГПа, где-то 12-25 ГПа, при том, что во втором защищаемом положении идет речь об уравнении состояния одной из фаз, которая экспериментально изучалась до 61 ГПа.

Во втором защищаемом положении упоминается уменьшение объема, речь идет видимо, об объеме элементарной ячейки. Стоило бы формулировать именно так, если это имелось в виду. Также по тексту часто

идет описание изменений объема. При этом можно только догадываться, что речь идет об объеме элементарной ячейки, а не кристалла, например.

На стр. 31 есть фраза: «Во всем исследуемом диапазоне давление контролировалось с помощью смещения линии R1 флуоресценции рубина, зерно которого размером ~5  $\mu\text{m}$  помещалось внутри камеры». Отсюда следует вопрос: какая рубиновая шкала была использована для расчета давления, Mao78, Mao 86 или более поздние?

На стр. 48 есть очень неудачная фраза «Мы использовали значения параметров P и V до 61 ГПа для фазы  $\text{Ca}(\text{Fe,Al})_2\text{O}_4$  и уравнение Берча-Мурнагана 3-го порядка (Anderson, 1995) для описания полученных данных:

$$P = 3/2 K_0 * [(V_0/V)^{7/3} - (V_0/V)^{5/3}] * [1 + 3/4 (K'_0 - 4) * \{(V_0/V)^{2/3} - 1\}]$$

Здесь перепутаны переменные (P,V) и подгоночные параметры ( $K_0$ ,  $K'_0$ ).

В Табл. 17 в качестве одного из параметров (коэффициентов) присутствует вторая производная модуля сжатия по давлению, что говорит об использовании уравнения Берча-Мурнагана 4-го порядка при обработке PV данных. Как это понимать?

Расшифруйте в списке литературы ссылку 103. «Mantle Pressures».

Эти замечания не умалят значимости диссертационного исследования. Диссертационная работа А.В. Искриной является самостоятельным научным произведением, которое базируется на большом объеме экспериментальных данных и результатах моделирования. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на Международных и Всероссийских конференциях, опубликованы в высокорейтинговых международных и Российских изданиях.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология» (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5

Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Искрина Анастасия Витальевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология».

Официальный оппонент:

Доктор геолого-минералогических наук,  
главный научный сотрудник лаборатории петрологии, геохимии и рудогенеза  
Института земной коры СО РАН

«Дорогокупец Петр Иванович»

11 декабря 2023

Контактные данные:

тел.: +7(950)1137231, e-mail: s

Специальность, по которой ос  
диссертация:

25.00.05 – минералогия, кристаллография

Адрес места работы:

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,

Институт земной коры СО РАН,

Лаборатория петрологии, геохимии и рудогенеза

Тел.: 8(3952)427000; e-mail: log@crust.irk.ru

