

Протокол № 75
Заседания диссертационного совета Д 501.001.62 при
Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова
от 2 октября 2015 г.

Присутствовали: проф. В.И. Старостин, проф. А.Л. Перчук, ст.н.с. Н.Г. Зиновьева, проф. В.В. Авдонин, проф. А.В. Бобров в.н.с. А.А. Борисов, ст.н.с. В.К. Гаранин, проф. Е.Н. Граменицкий, проф. А.Л. Дергачев, проф. член-корр. РАН Н.И. Еремин, в.н.с. И.Н. Кигай, в.н.с. В.Д. Конкин, в.н.с. А.Р. Котельников, в.н.с. К.В. Лобанов, проф. А.А. Матвеев, проф. В.Ю. Прокофьев, в.н.с. Г.В. Ручкин, проф. О.Г. Сафонов.

ПОВЕСТКА ДНЯ:

Защита диссертации на соискание ученой степени **кандидата** геолого-минералогических наук **Сироткиной Екатериной Андреевной** на тему «Хромсодержащие фазы в мантии Земли (по результатам экспериментов в модельных системах $\text{SiO}_2\text{-MgO-Cr}_2\text{O}_3\pm\text{Al}_2\text{O}_3$ при 7–24 ГПа)» по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология по геолого-минералогическим наукам.

Научный руководитель – доктор геол.-мин. наук Бобров Андрей Викторович

Официальные оппоненты:

доктор геол.-мин. наук **Горбачев** Николай Степанович, старший научный сотрудник, Институт экспериментальной минералогии Российской академии наук (ИЭМ РАН), главный научный сотрудник
доктор геол.-мин. наук **Шарков** Евгений Витальевич, профессор, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск)

СЛУШАЛИ:

Защиту диссертации на соискание ученой степени **кандидата** геолого-минералогических наук **Сироткиной Екатерины Андреевны** на тему «Хромсодержащие фазы в мантии Земли (по результатам экспериментов в модельных системах $\text{SiO}_2\text{-MgO-Cr}_2\text{O}_3\pm\text{Al}_2\text{O}_3$ при 7–24 ГПа)»

ПОСТАНОВИЛИ:

Принять заключение диссертационного совета.

Заслушав и обсудив диссертационную работу **Сироткиной Екатерины Андреевны** диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

На примере хрома **разработан** новый подход к экспериментальному исследованию поведения примесных компонентов в мантии Земли, заключающийся в введении повышенных содержаний изучаемого элемента в модельные системы и позволивший получить качественно новые закономерности влияния примеси на фазовые равновесия и снижение давления полиморфных превращений мантийных фаз.

Доказано, что присутствие хрома существенно влияет на фазовые превращения акимотоит/бриджманит, оливин/вадслеит/рингвудит, смещая их в область более низких давлений по сравнению с системами, не содержащими хром.

Предложены характерные механизмы вхождения трехвалентного хрома в глубинные минералы: акимотоит, бриджманит, вадслеит и рингвудит; выявлены особенности состава хромсодержащих фаз в зависимости от давления.

С использованием данных высокобарного эксперимента **показано** важное значение хромсодержащих фаз в минералогии верхней мантии, переходной зоны и верхних частей нижней мантии Земли; обоснованы топологические особенности диаграмм с участием хромсодержащих фаз.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:
доказаны следующие положения:

1. Результаты экспериментального изучения фазовых отношений в псевдобинарных системах мэйджорит–кноррингит ($Mg_4Si_4O_{12}-Mg_3Cr_2Si_3O_{12}$) и форстерит–магнезиохромит ($Mg_2SiO_4-MgCr_2O_4$) при 10–24 ГПа и 1600°C моделируют фазовый состав реститовой части верхней мантии, переходной зоны и верхних частей нижней мантии Земли в условиях частичного плавления. Добавление 1 мас. % Cr_2O_3 в систему смещает границы фазовых превращений акимотоит/бриджманит на 35 км, оливин/вадслеит на 50 км, вадслеит/рингвудит на 10 км в область более низких давлений по сравнению с системами, не содержащими хром.

2. В ряду твердых растворов мэйджорит–кноррингит ($Mg_4Si_4O_{12}-Mg_3Cr_2Si_3O_{12}$) при 10–20 ГПа установлен эффект высокой взаимной растворимости компонентов вплоть до состава 90 мол.% $Mg_3Cr_2Si_3O_{12}$ с четкой тенденцией снижения концентрации хрома с давлением. По данным рентгеноструктурного монокристалльного исследования, наиболее богатый хромом гранат принадлежит к кубической сингонии (пространственная группа $Ia\bar{3}d$, $a = 11,5879(2)$ Å), и при увеличении содержания мэйджорита параметр ячейки линейно снижается. В отличие от системы мэйджорит–пироп, не наблюдается смены кубической сингонии на тетрагональную даже при очень высоких содержаниях (97 мол.%) мэйджорита.

3. Структурные особенности фаз высокого давления ($MgSiO_3$ акимотоита и бриджманита) свидетельствуют о существенном увеличении параметров элементарных ячеек в результате вхождения в их состав хрома, в то время как влияние хрома на структуры вадслеита и рингвудита незначительно. Вхождение хрома в акимотоит, бриджманит и вадслеит иллюстрируется схемой $Mg^{2+} + Si^{4+} = 2Cr^{3+}$. Для рингвудита характерен следующий механизм замещения: $2^{VI}Cr^{3+} + ^{IV}Mg^{2+} = 2^{VI}Mg^{2+} + ^{IV}Si^{4+}$.

4. Гранат мэйджорит-кноррингитового ряда устойчив при давлении выше 8 ГПа. Добавление в систему даже незначительного количества алюминия (1,2 мас. % Al_2O_3) расширяет поле стабильности граната в более низкобарическую область и увеличивает его долю в мантийных фазовых ассоциациях за счет формирования пироп-мэйджорит-кноррингитовых серий твердых растворов.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс экспериментальных методик на аппаратах высокого давления: тороидный аппарат высокого давления типа «наковальня с лункой» (ГЕОХИ РАН) (более 15 экспериментов); установка типа «разрезной цилиндр» (исследовательский центр Университета Мацуямы, Япония) (более 70 экспериментов), и кроме того различные аналитические методы изучения продуктов опытов: сканирующая электронная микроскопия и электронно-зондовый анализ, рамановская спектроскопия и монокристалльный рентгеноструктурный анализ;

Впервые **изучены** фазовые отношения в простых модельных системах $Mg_4Si_4O_{12} - Mg_3Cr_2Si_3O_{12}$ и $Mg_2SiO_4 - MgCr_2O_4$ при давлении 10–24 ГПа и постоянной температуре (1600°C), захватывающих широкий диапазон мантийных глубин.

изложены новые данные о растворимости хрома в глубинных минералах – оливине, вадслеите, рингвудите, акимотоите и бриджманите, а также получены новые данные о влиянии хрома на кристаллохимические особенности глубинных фаз; установлена схема, согласно которой хром входит в структуры глубинных минералов; обнаружено существенное изменение параметров элементарных ячеек при увеличении содержания хрома и принципиально различная реакция полиэдров акимотоита и бриджманита на вхождение хрома в их структуру.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

определены предельные содержания хрома в глубинных минералах, получены экспериментальные данные о влиянии состава хромсодержащих минералов высоких давлений на параметры их элементарных ячеек, что может быть использовано для уточнения фазового и химического состава мантии Земли.

установлена зависимость состава синтезированных фаз от давления, которая может быть задействована для усовершенствования существующих термобарометрических оценок формирования мантийных минеральных ассоциаций.

Результаты работы имеют значение для развития представлений о химическом и фазовом составе глубинных оболочек Земли.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные данные получены в ведущих российских и зарубежных лабораториях с использованием современного сертифицированного оборудования: тороидальный пресс типа «наковальня с лункой» НЛ-13Т, «многопуансонный пресс» Sumitomo UHP-2000, для которых приведены калибровки по температуре и давлению. В работе изложены методики эксперимента на различных установках высокого давления, методы подготовки стартовых составов, а также характеристики использованных аналитических методов исследования продуктов опытов. Аналитические измерения выполнены на высокоточном сертифицированном оборудовании, обеспечивающем высокую воспроизводимость результатов анализов: сканирующий электронный микроскопе Jeol JSM-6480LV (Япония), оснащенный энергодисперсионным анализатором INCA Energy-350 и волновым дифракционным спектрометром INCA Wave-500 (Oxford Instrument Ltd., Великобритания); монокристалльный рентгеноструктурный анализ проводился на автоматическом дифрактометре Enraf Nonius – CAD4 и на дифрактометре типа Bruker-Enraf MACH3, мелкие кристаллы дополнительно изучались с использованием аппарата Oxford Xcalibur 3 с сапфировым 2 CCD детектором.

Использованы такие приемы, как физико-химический эксперимент при высоких давлениях и температурах, анализ топологии модельных систем и построение фазовых Р-Х диаграмм

Личный вклад соискателя состоит в: 1) участии в постановке задач исследования; 2) изучении научной литературы по тематике диссертационной работы; 3) непосредственном участии в подготовке и проведении всех научных экспериментов (около 90); 4) подготовке и анализу экспериментального материала; 5) обработке и интерпретации экспериментальных данных; 6) совместно с соавторами опубликованных работ проведена интерпретация полученных данных, написаны тексты статей, тезисов докладов для конференций. Соискатель принимал личное участие в апробации результатов исследований.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 января 2002 г. № 74 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 20 июня 2011 г. № 475), и принял решение присудить **Сироткиной Екатерине Андреевне** ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности 25.00.04 «Петрология, вулканология» и 11 докторов наук по специальности 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения», участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 18, против - нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета
профессор

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.И. Старостин

Н.Г. Зиновьева