

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА Д.С. КОРЖИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

**X ВСЕРОССИЙСКАЯ ШКОЛА
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
МИНЕРАЛОГИЯ,
ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ»**

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

28-30 октября 2019 г.

Черноголовка

УДК 550.4.02

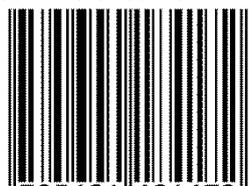
X ВСЕРОССИЙСКАЯ ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ»: Сборник материалов. Черноголовка. 2019 г. 150 с.

В сборнике представлены материалы X Всероссийской школы молодых ученых «Экспериментальная минералогия, петрология и геохимия» (г.Черноголовка, 28-30 октября 2019 г.). Школа организована на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского Российской академии наук. В сборнике обсуждаются общие и частные проблемы экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Уделяется внимание условиям зарождения и эволюции магм, минеральным равновесиям в силикатных и рудных системах, исследованиям гидротермальных и флюидных систем, синтезу макро- и нанокристаллов, технической петрологии и материаловедению.

Все материалы представлены в авторском варианте

ISBN 978-5-6041841-7-2

ISBN 978-5-6041841-7-2



9 785604 184172

©ИЭМ РАН

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ ШКОЛЫ:

Председатель организационного комитета:

Шаповалов Ю.Б., член-корреспондент РАН, д.г.-м.н., ИЭМ РАН

Заместитель председателя:

Сафонов О.Г., профессор РАН, д.г.-м.н., ИЭМ РАН

Сопредседатели организационного комитета:

Ковальская Т.Н., к.г.-м.н., с.н.с. ИЭМ РАН

Осадчий Е.Г., д.х.н., зам. директора ИЭМ РАН

Ученый секретарь:

Варламов Д.А. - с.н.с. ИЭМ РАН

Программный комитет:

председатель - Сафонов О.Г., д.г.м.н., ИЭМ РАН

зам председателя- Ковальская Т.Н., к.г.-м.н., ИЭМ РАН

Члены: Бутвина В.Г., к.г.-м.н., ИЭМ РАН

Воронин М.В., к.х.н., ИЭМ РАН

Костюк А.В., к.г.-м.н., ИЭМ РАН

Сеткова Т.В., к.х.н., ИЭМ РАН

Ханин Д.А., к.г.-м.н., ИЭМ РАН

Члены технического оргкомитета:

Ханин Д.А., к.г.-м.н., н.с. ИЭМ РАН

Костюк А.В., к.г.-м.н., с.н.с. ИЭМ РАН

Сеткова Т.В., к.х.н., с.н.с. ИЭМ РАН

Воронин М.В., к.х.н., с.н.с. ИЭМ РАН

Калинин Г.М., м.н.с. ИЭМ РАН

Адрес оргкомитета: Институт экспериментальной минералогии РАН

142432, г.Черноголовка, Московская обл., ул. акад.Осипьяна, д.4

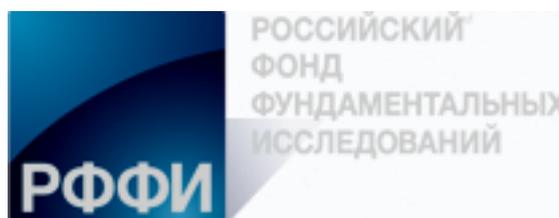
Тел. (49652) 25857, факс (49652) 49687

e-mail: school2019@iem.ac.ru, tatiana76@iem.ac.ru,

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Российский фонд фундаментальных исследований,

Грант № 19-05-20127 (научные мероприятия)



ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| МАТЕРИАЛЫ ЛЕКЦИЙ | 9 |
| ПАРЦИАЛЬНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ ПРИ МЕТАМОРФИЗМЕ: УСЛОВИЯ, МЕХАНИЗМЫ, РОЛЬ ФЛЮИДОВ <u>Азимов П.Я.</u> | 10 |
| МЕТЕОРИТЫ: ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ О МИНЕРАЛЬНОМ ВЕЩЕСТВЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ <u>Берзин С.В.</u> | 13 |
| ФОСФОР В ХИМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ: ОТ ПРОТОПЛАНЕТНОГО ОБЛАКА ДО ЗАРОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ <u>Бритвин С.Н.</u> | 17 |
| ИЗОТОПНЫЙ АНАЛИЗ СТРОНЦИЯ И НЕОДИМА В БИОГЕННОМ АПАТИТЕ <u>Киселева Д.В.</u> , Червяковская М.В., Стрелецкая М.В., Солошенко Н.Г. | 18 |
| С ВУЛКАНОВ В ЛАБОРАТОРИЮ: НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МИНЕРАЛАМ И МАТЕРИАЛАМ С СУЛЬФАТНЫМИ АНИОНАМИ <u>Сийдра О.И.</u> | 21 |
| ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НА ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЮ МИНЕРАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ <u>Таусон В.Л.</u> | 22 |
| МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ | 26 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИЗОХИМИЧЕСКИХ ДИАГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ ГРАНУЛИТОВ ОАЗИСА БАНГЕРА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА <u>Абдрахмаанов И. А.</u> , Боровков Н. В., Гульбин Ю. Л. | 27 |
| РЕКОНСТРУКЦИЯ <i>P–T</i> ТРАЕКТОРИЙ МЕТАМОРФИЗМА ДОКЕМБРИЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН МЕТОДОМ ПСЕВДОСЕЧЕНИЙ <u>Акбарпуран Хайяти С.А.</u> , Гульбин Ю.Л., Сироткин А.Н. | 30 |
| УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОРУНДСОДЕРЖАЩИХ МЕТАСОМАТИТОВ ПРОЯВЛЕНИЯ ХИТООСТРОВ (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ) <u>Акимова Е.Ю.</u> , <u>Кольцов А.Б.</u> | 34 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НИТРАТНОЙ ФОРМЫ КВИНТИНИТА: $Mg_4Al_2(OH)_{12}(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ <u>Половецкая В. А.</u> , <u>Антонов А. А.</u> | 37 |
| СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТА С МИНЕРАЛЬНЫМ УКРЕПИТЕЛЕМ <u>Безродных А.А.</u> , <u>Дмитриева Т.В.</u> , Куцына Н.П. | 39 |

| | |
|---|----|
| ОСОБЕННОСТИ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ПРИСУТСТВИИ ЖИДКОГО СТЕКЛА <u>Бондаренко Д.О.</u> , Строкова В.В. | 42 |
| ПЕТРОГЕНЕЗИС И P, T – УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОРТОПИРОКСЕНОВЫХ ГРАНИТОИДОВ ОАЗИСА БАНГЕРА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА <u>Боровков Н.В.</u> , Корешкова М.Ю., Лейченков Г.Л. | 45 |
| ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ $Mg_3Al_2(SiO_4)_3 - Mg_4Ti_4O_{12}$ ПРИ 7 ГПа И 1000 – 1600°C <u>Бурова А.И.</u> , Бобров А.В., Спивак А.В., Бенделиани А.А. | 47 |
| КРИСТАЛЛОХИМИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АНАЛОГОВ АВЕРЬЕВИТА И ЯРОШЕВСКИТА <u>Владимирова В.А.</u> , Сийдра О.И., Цирлин А.А. | 49 |
| ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕЛИНЕЙНО – ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ <u>Волков А.С.</u> , Чугунов А.В. | 51 |
| ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ИМЭНГИТА И ДРУГИХ РЕДКИХ ТИТАНАТОВ (ПРАЙДЕРИТА И МАТИАСИТА): ПРИРОДНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ <u>Воробей С.С.</u> , Бутвина В.Г., Сафонов О.Г., Варламов Д.А., Бондаренко Г.В. | 55 |
| ФАЗОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ В СИСТЕМЕ Pd-Bi-Te ПРИ 450°C <u>Герингер Н.В.</u> , Евстигнеева П.В., Чареев Д.А., Никольский М.С., Некрасов А.Н., Ковальчук Е.В., Вымазалова А. | 58 |
| К МЕТОДИКЕ ЛОКАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛЕНТНОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗА В ХРОМШПИНЕЛЯХ НА ЭЛЕКТРОННО-ЗОНДОВОМ МИКРОАНАЛИЗАТОРЕ <u>Даниленко И.А.</u> , Замятин Д.А., Вотяков С.Л., Чашухин И.С. | 61 |
| ПРОЦЕСС АБИОГЕННОГО И БИОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ КАРБОНАТОВ <u>Духанина У.Н.</u> , Балицкий Д.А., Строкова В.В. | 64 |
| МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО СУСПЕНЗИЕЙ КРЕМНЕЗЕМА <u>Жерновский И.В.</u> , Нелюбова В.В., <u>Масанин О.О.</u> , Усиков С.А. | 67 |
| ФАЗОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ И МЕЖФАЗОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТИТАНА, НИКЕЛЯ И ХРОМА В МОДЕЛЬНОМ ПИРОЛИТЕ ПРИ 7 ГПА И 1000–1800°C <u>Иванова М.В.</u> , Бобров А.В., Спивак А.В., Бенделиани А.А., Каргальцев А.А. | 70 |
| СИНТЕЗ И СТРУКТУРА АЛЮМИНАТОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ И НИЖНЕЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ <u>Искрина А.В.</u> , Бобров А.В., Спивак А.В., Дубровинский Л.С., Ерёмин Н.Н., Марченко Е.И. | 73 |
| ПОСТМАГМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТИКШЕОЗЕРСКОГО МАССИВА (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ, РОССИЯ) ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ <u>Калинин Г.М.</u> , Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Котельников А.Р., Шаповалов Ю.Б. | 75 |

СИНТЕЗ И СТРУКТУРА АЛЮМИНАТОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ И НИЖНЕЙ МАНТИИ ЗЕМЛИ

Искрина А.В.¹, Бобров А.В.^{1,2}, Спивак А.В.², Дубровинский Л.С.³, Ерёмин Н.Н.¹, Марченко Е.И.¹
¹МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва), ²ИЭМ РАН (г. Черногоровка), ³Баварский Геоинститут
 (г. Байройт)

grigoryeva_av888@mail.ru

Алюминий один из самых распространенных элементов в составе Земли. Относительное содержание Al_2O_3 в пиролите составляет 4.0–4.5 мас. % [3], что значительно меньше, чем в земной коре (16,4 мас. % Al_2O_3 в MORB) [2]. Однако, субдукция океанической коры может привести к значительному насыщению пород мантийных глубин Al и другими типичными элементами земной коры. Предполагается, что алюминаты могут являться концентраторами алюминия в условиях переходной зоны и нижней мантии Земли [1]. В связи с этим необходимо получение дополнительных экспериментальных данных в области изучения алюминатов и, в частности, кальциевых алюминатов, параметров их устойчивости, структурных особенностей и механизмов изоморфных замещений в них.

Целью данной работы является установление особенностей полиморфных модификаций алюминатов кальция в системе $CaAl_2O_4$.

В ходе работы было проведено более 15 экспериментов на установках высокого давления с прессами усилиями 1200 тонн (фирма Sumitomo) и 1000 тонн (фирма Naumag) в Баварском Геоинституте г. Байройт, Германия. Были синтезированы $CaAl_2O_4$, $Ca(Al,Fe)_2O_4$ и новая, ранее не известная фаза $Ca_2Al_6O_{11}$. Полученные соединения изучены методами оптической микроскопии, SEM и микрозондового анализа. С помощью монокристаллической рентгеновской дифракции расшифрованы структуры и предложены кристаллохимические формулы фаз. Структурные данные полученных фаз приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры элементарной ячейки и геометрические характеристики для фаз $Ca_2Al_6O_{11}$, $CaAl_2O_4$ и $Ca(Al,Fe)_2O_4$.

| | $Ca_2Al_6O_{11}$ (тетрагон.) | $CaAl_2O_4$ (ромб.) | $Ca(Al,Fe)_2O_4$ (ромб.) |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------|
| Формула | $Ca_2Al_6O_{11}$ | $CaAl_2O_4$ | $Ca(Al,Fe)_2O_4$ |
| Формульный вес | 418 | 83,1 | 17,4 |
| Пространственная группа | $P4_2/mnm$ (#136) | $Pnma$ (#62) | $Pnma$ (#62) |
| Параметры ячейки | | | |
| <i>a</i> | 11.1675(4) | 8.8569(10) | 8.9785 |
| <i>b</i> | 11.1675(4) | 2.8561(4) | 2.9158 |
| <i>c</i> | 2.83180(10) | 10.2521(11) | 10.4253 |
| α | 90° | 90° | 90° |
| β | 90° | 90° | 90° |
| γ | 90° | 90° | 90° |
| V | 353.16(2) | 259.34(5) | 286.7(19) |
| Z | 2 | 8 | 8 |
| F(000) | 412 | 312 | 350 |
| ρ (g/cm ³) | 3.93 | 4.08 | 4.08 |

Методом монокристаллической рентгеновской дифракции с использованием синхротронного излучения были уточнены структуры синтезированных фаз, а также изучена сжимаемость фазы $Ca(Al,Fe)_2O_4$ до давлений ~61 ГПа (рис. 1).

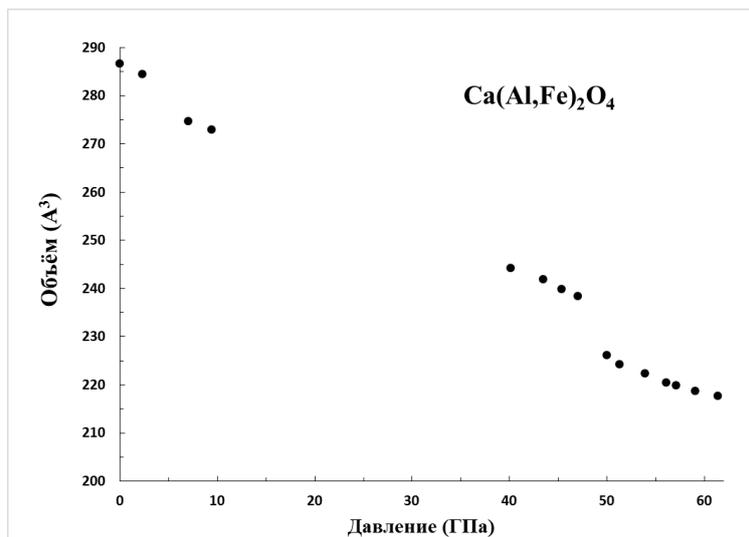


Рис. 1. Зависимость объёма ячейки от давления для фазы $\text{Ca}(\text{Al,Fe})_2\text{O}_4$.

PV-уравнение состояния для соединения $\text{Ca}(\text{Al,Fe})_2\text{O}_4$ получено впервые. Изучение сжимаемости проводилось при постоянной температуре, то есть в изотермической системе, поэтому рассчитывались, соответственно, изотермический модуль объёмного сжатия $K_{0,T}$ и изотермический коэффициент объёмного сжатия β_T (табл. 2). Для расчёта использовалась программа EoSFit7-GUI Program (26/06/2017), разработанная Р. Энджелом, Дж. Гонсалес-Платасом и М. Альваро.

Таблица 2. Значения модуля упругости и его производных для фазы $\text{Ca}(\text{Al,Fe})_2\text{O}_4$.

| Параметр | Значение |
|--|-----------|
| $V_0(\text{Å}^3)$ | 286.7(19) |
| $K_{0,T}(\text{ГПа})$ | 173.(13) |
| $\beta_T(10^{-9} \cdot \text{ГПа}^{-1})$ | 0.0058 |

В изученном диапазоне давлений наблюдается спиновый переход для трёхвалентного железа $\text{Fe}(\text{III})$. При давлении примерно 50 ГПа происходит переход Fe^{3+} из высокоспинового состояния с неспаренными электронами на орбиталях в низкоспиновое без неспаренных электронов. Во всем изученном диапазоне давлений для фазы $\text{Ca}(\text{Al,Fe})_2\text{O}_4$ сохраняется структура кальциоферрита и пространственная группа *R3m*. При повышении давления не наблюдаются фазовые переходы, что говорит о стабильности и устойчивости данного соединения вплоть до высоких давлений, реализующихся в глубинных оболочках Земли.

Учитывая первые монокристалльные рентгеновские данные для двух фаз высокого давления в системе $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$, представленных здесь, можно сделать вывод о необходимости дальнейших подробных исследований в этой области, включая исследование структурных изменений и вероятных фазовых переходов этих фаз при повышении давления.

Вхождение железа в структуру алюминатов кальция также требует дальнейших исследований. Согласно полученным данным, изучаемая фаза $\text{Ca}(\text{Al,Fe})_2\text{O}_4$ стабильна в диапазоне давлений до ~60 ГПа и может существовать в качестве крайнего члена ряда твердых растворов в условиях переходной зоны и нижней мантии Земли.

Все вышеописанные фазы, несомненно, могут рассматриваться в качестве фаз-концентраторов алюминия в глубинных оболочках Земли.

Работа выполнена при поддержке РФФ № 17-17-01169.

Литература:

1. Eremin N. N., Grechanovsky A. E., Marchenko E. I. Atomistic and Ab Initio Modeling of CaAl_2O_4 High-Pressure Polymorphs under Earth's Mantle Conditions, *Crystallography Reports*, 2016, Vol. 61, No. 3, P. 432–44
2. Green, D.H., Hibberson, W.O. and Jaques, A.L. Petrogenesis of mid-ocean ridge basalts. In: *The Earth; its origin, structure and evolution*, Acad. Press., London, 1979, P. 265-299.
3. McDonough and Sun, *The composition of the Earth*, Chem. Geol., 120, 1995, P. 223 - 253