



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ им. В.И. ВЕРНАДСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ГЕОХИ РАН)

Российская Федерация, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, дом 19
Для телеграмм: Москва, В-334, ГЕОХИ РАН. Телефон: +7 (499) 137 14 84
Телефакс: +7 (495) 938 20 54. Эл. почта: director@geokhi.ru



Утверждаю

Директор ГЕОХИ РАН, чл.-корр. РАН

Ю.А. Костицын

«13» февраля 2019 г.

ВЫПИСКА

Из протокола расширенного заседания лаборатории термодинамики и математического моделирования природных процессов диссертационного совета Д 002.109.02. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) от 13 февраля 2019 г., посвященного представлению доклада Е.В. Кронрод по материалам диссертационной работы «Термохимические модели состава и внутреннего строения мантии Луны» на соискание степени химических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

СПИСОК ПРИСУТСТВУЮЩИХ НА ЗАСЕДАНИИ:

1. Дорофеева В.А., д.х.н., г.н.с., зав. лаб. ГЕОХИ РАН
2. Николаев Г.С., н.с. ГЕОХИ РАН
3. Дунаева А.Н., к.х.н., н.с. ГЕОХИ РАН
4. Сидкина Е.С., к.г.-м.н., с.н.с. ГЕОХИ РАН
5. Плечов П.Ю., д.г.-м.н., профессор РАН, директор Мин. музея им. А.Е.Ферсмана
6. Яковлев О.И., к.г.-м.н., с.н.с. ГЕОХИ РАН
7. Хисина Н.Р., д.г.-м.н., в.н.с. ГЕОХИ РАН
8. Арискин А.А., д.г.-м.н., профессор МГУ, в.н.с. ГЕОХИ РАН
9. Силантьев С.А., д.г.-м.н., г.н.с. ГЕОХИ РАН
10. Мироненко М.В., к.г.-м.н. ГЕОХИ РАН
11. Базилевский А.Т., д.г.-м.н., г.н.с., профессор ГЕОХИ РАН
12. Печерникова Г.В., д.ф.-м.н. ИДГ РАН
13. Девина О.А., к.х.н., н.с. ГЕОХИ РАН
14. Еремин Н.Н., д.х.н., профессор, зав.каф. МГУ
15. Кусков О.Л., д.х.н., член.-корр. РАН, г.н.с. ГЕОХИ
16. Рыженко Б.Н., д.х.н., ГЕОХИ РАН
17. Когарко Л.Н., д.г.-м.н., академик РАН, зав. лаб. ГЕОХИ РАН

16. Рыженко Б.Н., д.х.н., ГЕОХИ РАН
17. Когарко Л.Н., д.г.-м.н., академик РАН, зав. лаб. ГЕОХИ РАН
18. Воропаев С.А., к.ф.-м.н., с.н.с. ГЕОХИ РАН
19. Ипатов С.И., д.ф.-м.н., в.н.с. ГЕОХИ РАН
20. Русол А.В., к.т.н., с.н.с. ГЕОХИ РАН
21. Мигдисова Н.А., к.г.-м.н., с.н.с. ГЕОХИ РАН
22. Русаков В.Ю., д.г.-м.н. ГЕОХИ РАН
23. Каминский Ф.В., д.г.-м.н., профессор, ГЕОХИ РАН
24. Бурмин В.Ю., д.ф.-м.н., г.н.с. ИФЗ РАН
25. Лебедев Е.Б., д.х.н., в.н.с. ГЕОХИ РАН
26. Сорокин Е.М., м.н.с. ГЕОХИ РАН
27. Красильников С.С., м.н.с. ГЕОХИ РАН

ПОВЕСТКА ЗАСЕДАНИЯ:

Обсуждение диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых Кронрод Екатерины Викторовны на тему «Термохимические модели состава и внутреннего строения мантии Луны».

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН Кусков Олег Львович

Предварительные рецензенты представленной диссертации от диссертационного совета Д 002.109.02:

1. д.г.-м.н. Базилевский Александр Тихонович (ГЕОХИ РАН);
2. д.х.н. Рыженко Борис Николаевич (ГЕОХИ РАН);
3. д.х.н. Ширяев Андрей Альбертович (ИФХЭ РАН).

СЛУШАЛИ

Научный доклад Е.В. Кронрод «Термохимические модели состава и внутреннего строения мантии Луны» (по материалам кандидатской работы). Е.В. Кронрод, младший научный сотрудник лаборатории термодинамики и математического моделирования природных процессов ГЕОХИ РАН, представила актуальность и основные результаты своей кандидатской диссертации. Е.В. Кронрод определила цель и задачи исследования. Цель работы заключалась в моделировании термального состояния и химического состава мантии Луны на основе совместной инверсии сейсмических, гравитационных и петрологических данных и построении согласованных моделей внутреннего строения Луны. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- (1) Моделирование фазового состава и термоупругих свойств минеральных ассоциаций (термического расширения, модулей сжатия и сдвига, скоростей распространения продольных

(2) Влияние химического и минерального состава в системе $\text{Na}_2\text{O-TiO}_2\text{-CaO-FeO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (NaTiCFMAS) на физико-химические параметры мантии Луны.

Тестирование существующих сейсмических моделей по отношению к термальному режиму и химическому составу мантии Луны в широком интервале концентраций основных оксидов. Преобразование профилей скоростей сейсмических волн ($V_{p,s}$ – глубина) в соотношения температура–состав–глубина с помощью методов термодинамики и физики минералов.

(3) Определение распределений температуры, концентраций радиоактивных элементов в мантии, поверхностных тепловых потоков на основе квазистационарной теплофизической модели и сейсмических моделей мантии Луны.

(4) Исследование влияния термального состояния на химический состав трехслойной мантии и валовый состав силикатной фракции Луны (кора + мантия, BSM); определение валовых концентраций основных породообразующих оксидов и магнезиального числа $\text{MG\#}$ ($\text{MG\#} = \text{MgO}/[\text{MgO} + \text{FeO}]$).

(5) Разработка алгоритмов и программ для решения поставленных задач.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение вещественного состава и внутреннего строения тел Солнечной системы остается одной из важнейших задач в области космогеохимии и планетологии. Система Земля - Луна занимает особое место среди небесных тел Солнечной системы, а ее происхождение - одна из фундаментальных проблем естествознания (Виноградов, 1975; Галимов, 2011; Galimov, Krivtsov, 2012; Discussion Meeting Issue, 2014; Печерникова, 2014; Гудкова, Раевский, 2013; Meier et al., 2014; Barr, 2016). Проблема химического и изотопного состава Луны важна не только сама по себе. Она оказывается тесно связанной с проблемой начального состояния и ранней эволюции тел Солнечной системы, поскольку геохимические данные становятся решающими в системе существующих ограничений при доказательстве любой концепции происхождения Луны. В прагматическом отношении Луна представляет интерес как промежуточная база для полетов к дальним объектам Солнечной системы и как перспективный в будущем источник минерального сырья. Химический состав и термальная эволюция Луны должны рассматриваться в качестве фундаментального геохимического ограничения при тестировании космогонических моделей ее происхождения. Однако данные, характеризующие внутреннее строение Луны, крайне недостаточны. Термические, сейсмические и петрологические модели противоречивы, нет данных о составе глубинных пород и составе ядра Луны.

Полученные результаты важны для развития геохимии и сравнительной планетологии, они позволяют сравнивать модельные составы лунного и земного вещества, делать предварительные выводы об их однородности или фракционировании в процессе формирования Земли и ее спутника. Предложенный подход к тестированию скоростной структуры мантии Луны дает независимый инструмент для оценки достоверности исследуемой сейсмической модели и ее соответствия петрологическим и термальным моделям.

Результаты численного моделирования состава, температурного режима и сейсмических свойств недр Луны могут быть полезны при планировании и интерпретации результатов

космических исследований Луны в рамках реализации Российских проектов Луна-25 (и последующих), планет и спутников Солнечной системы.

СПИСОК ЗАДАННЫХ ВОПРОСОВ:

Академик РАН Когарко Л.Н.

Замечания:

- 1) Неясно, каков личный вклад автора
- 2) Непонятно, как решается обратная задача
- 3) Неудачно сформулированы защищаемые положения

К.г.-м.н. Яковлев О.И.

Вопрос:

- 1) Корректно ли употреблять термин «Термохимические модели»?

Кронрод Е.В.

Ответ:

- 1) Поставленные задачи решаются с помощью методов термодинамики, в процессе решения определяются температура и химический состав.

Д.х.н. Лебедев Е.Б.

Вопрос:

- 1) Предполагает ли предложенная модель существование гидросиликатов в средней мантии, которые понижают сейсмические скорости?

Кронрод Е.В.

Ответ:

- 1) В нашей модели понижение скоростей поперечных волн объясняется повышенным содержанием железа в средней мантии. Достоверных сведений о существовании гидросиликатов в этой зоне в настоящее время нет.

Д.х.н. Дорофеева В.А.

Вопрос:

- 1) В недавно опубликованной работе было показано присутствие воды в расплавных включениях, что говорит о том, что мантия Луны содержит значительное количество воды. Учитывается ли присутствие воды в мантии?

Кронрод Е.В.

Ответ:

- 1) В нашей модели рассматривается сухая мантия. Существенное количество воды было найдено в отдельных образцах и неизвестно, представляют ли эти образцы общий объем мантии или же это скорее аномалия. Кроме того, значительное количество воды должно было бы отразиться на сейсмических скоростях, чего мы не наблюдаем в скоростных моделях. Поскольку содержание воды, которое есть в Луне, не отражается на скоростях, влиянием воды мы пренебрегаем.

Д.г.-м.н. Арискин А.А.

Вопросы:

- 1) Тепловой режим и содержание радиоактивных элементов различается в морских и океанических областях. Какие потоки определялись?

Замечание:

- 1) Стоит разобраться в корректности терминологии, употребляемой для состава мантии

Кронрод Е.В.

Ответы:

- 1) Определялась средняя величина плотности теплового потока с поверхности.

Д.ф.-м.н. Бурмин В.Ю.

Вопросы:

- 1) Какая сейсмическая модель бралась за основу?
2) Почему скорости задавались не по сейсмической модели, а в диапазоне? Каким образом тогда профиль скорости влияет на результат, если выбранные диапазоны не повторяют заданный скоростной профиль?

Кронрод Е.В.

Ответы:

- 1) В первом разделе при определении наиболее вероятного состава температуры определялись по нескольким сейсмическим моделям по наиболее вероятным значениям скоростей (без учета погрешностей).
2) В последнем разделе при расчетах холодных и горячей моделей трехслойной мантии за основу бралась сейсмическая модель Гагнпейн-Бейне 2006 года с учетом приведенных в этой работе погрешностей. Полученные в результате решения обратной задачи сейсмические скорости в нашей модели достаточно хорошо согласуются с наиболее вероятными значениями заданной сейсмической модели.

Д.г.-м.н. Силантьев С.А.

Вопрос:

- 1) Гомогенна ли Луна по составу в рассматриваемой модели?

Кронрод Е.В.

Ответ:

- 1) Мантия Луны разделена на 3 слоя. Состав в разных слоях отличается, при этом в пределах слоя состав считается гомогенным.

Д.г.-м.н. Каминский Ф.В.

Вопрос:

- 1) Каковы давления в нижней мантии Луны и могут ли там быть фазы высокого давления?

Кронрод Е.В.

Ответ:

- 1) Давление достигает 50 кбар, чего недостаточно для существования таких фаз.

К.ф.-м.н. Воропаев С.А.

Вопрос:

- 1) Какова толщина магматического океана? Как при большой мощности океана учитывается влияние конвекции?

Кронрод Е.В.

Ответ:

- 1) Мощность магматического океана задавалась 750 км в соответствии с сейсмической границей нижней мантии. Рассматривается стационарная модель, в настоящее время конвекция в Луне отсутствует.

Д.ф.-м.н. Ипатов С.И.

Вопрос:

- 1) Чем работа отличается от других?

Кронрод Е.В.

Ответ:

- 1) Новизна работы описана в реферате и отражена в защищаемых положениях.

Д.х.н. Дорофеева В.А.

Вопрос:

- 1) Какой гипотезе происхождения Луны соответствует работа?

Кронрод Е.В.

Ответ:

- 1) Вопрос происхождения Луны в работе не рассматривается.

ВЫСТУПИЛИ:

Академик РАН Когарко Л.Н.: Диссертационная работа хорошая, соответствует требованиям, которые предъявляются к кандидатским диссертациям, работу можно рекомендовать к защите на Совете Института. Проведено большое исследование, получены интересные результаты. Однако из доклада не ясно, в чем состоит научная новизна. По Луне существует множество работ, необходимо изложить, что уже известно и четко показать, что в работе сделано нового. Следует переписать защищаемые положения, выделить личный вклад автора и изложить положения более понятно.

Д.х.н. Еремин Н.Н. (рекомендуемый оппонент):

Бесспорно, работа соответствует требованиям к кандидатским диссертациям и может быть представлена к защите. Конечно, есть небольшие замечания, которые стоит отдельно обсудить.

Д.х.н. Лебедев Е.Б.:

Работа хорошая, проведено большое исследование, опубликовано много работ по теме диссертации, работу можно рекомендовать к защите на Совете Института.

Д.ф.-м.н. Бурмин В.Ю.:

Интересная работа, безусловно ее можно рекомендовать к защите. Некоторые замечания: 1) в защищаемых положениях должно быть меньше глаголов, более четко должны быть представлены результаты; 2) заменить термин «термальный» на «термический»; 3) показать, как выбор сейсмической модели влияет на полученные результаты.

Научный руководитель член-корр. РАН Кусков О.Л.:

Вопросы о валовом составе Луны до сих пор остаются предметом многочисленных дискуссий. Цель диссертационной работы Е.В. Кронрод – построение геохимических моделей внутреннего строения Луны, согласованных с наблюдательными данными сейсмологии, геофизики и селенодезии. В работе на основе совместной инверсии гравитационных, сейсмических и петрологических данных в сочетании с методами химической термодинамики и физики минералов проведены определения температуры, тепловых потоков и концентрации урана в Луне, исследовано влияние термального состояния на химический состав и физические свойства мантии Луны. Предложенный подход дает независимый инструмент для оценки достоверности исследуемой

сейсмической модели и ее соответствия петрологическим и термальным моделям. Полученные в диссертационной работе Е.В. Кронрод результаты по моделированию состава, теплового режима и физических свойств недр Луны важны при планировании и интерпретации результатов Российских проектов по исследованию Луны. Результаты работы опубликованы в рейтинговых журналах и представлены на многочисленных конференциях. Работу Е.В. Кронрод можно рекомендовать к защите на Совете Института.

Д.г.-м.н. Базилевский А.Т. (председатель предварительной комиссии):

Комиссия считает, что по содержанию и направленности исследований диссертация «Термохимические модели состава и внутреннего строения мантии Луны», представленная Кронрод Екатериной Викторовной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 25.00.09 - «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», соответствует профилю диссертационного совета Д 002.109.02 на базе ФБГУН Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) и паспорту специальности 25.00.09. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, отвечает требованиям ВАК и может быть принята в Совет для защиты на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 25.00.09 – «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

ПОСТАНОВИЛИ:

Одобрить и рекомендовать работу Е.В. Кронрод «Термохимические модели состава и внутреннего строения мантии Луны» к защите в качестве диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых в диссертационном совете Д 002.109.02 на базе Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

Рекомендуемые оппоненты:

- Поляков Вениамин Борисович, доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории флюидно-магматических процессов ФБГУН Института экспериментальной минералогии РАН (ИЭМ РАН, г. Черноголовка);
- Еремин Николай Николаевич, д.хим.н., профессор, заведующий кафедрой кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ, г. Москва).

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), Москва.

Председатель расширенного заседания,

д.х.н., г.н.с., зав. лаб.



В.А. Дорофеева

Ученый секретарь расширенного заседания,

к.х.н., н.с.



О.А. Девина