

University of  
Hawai‘i  
MĀNOA

Отзыв

на автореферат диссертации Ивановой Марины Александровны «*Первое твёрдое вещество, образованное в Солнечной системе*», представленной на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа М. А. Ивановой посвящена изучению минералогии, петрографии, валового химического и изотопного состава различных типов тугоплавких включений (в том числе редких типов: составных, ультратугоплавких и FUN CAIs) и хондр из CV, CH и CB углистых хондритов. с использованием нескольких аналитических методов (оптическая микроскопия, SEM, EBSD, EPMA, SIMS, TIMS, ICPMS, SRXRF), экспериментов и теоретических расчетов. Полученные данные использованы для изучения хронологии ранней солнечной системы и процессов образования (конденсации, плавления и испарения) тугоплавких включений и хондр в протопланетном диске и на материнских телах хондритов.

По теме диссертации опубликовано 25 печатных работ в отечественных (*Геохимия и Петрология*) и зарубежных (*Science, Geochimica et Cosmochimica Acta, Astrophysical Journal, American Mineralogist, Meteoritics and Planetary Science, Chemie der Erde - Geochemistry*) журналах.

Диссертационная работа состоит из введения, литературного обзора, 6 глав и заключения.

Глава 3

Установлен абсолютный возраст тугоплавких включений характеризующихся каноническим начальным  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  отношением  $[(^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al})_0]$  из CV хондриита Ефремовка. Данный возраст рассматривается в космохимии как начальный возраст формирования нашей солнечной системы. Продолжительность формирования данных включений оценена ~ 0.16 Муг. Стоить отметить, однако, что данный вывод не может быть распространен даже

на CV включения с не каноническим ( $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ )<sub>0</sub>,  $<5.2\times10^{-5}$ . Например, было показано, что мелкозернистые, богатые шпинелью CAIs конденсатного происхождения из CV хондритов, которые избежали плавления, демонстрируют разброс исходного отношения ( $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ )<sub>0</sub>:  $3.4\times10^{-5} - 5.2\times10^{-5}$  (Kawasaki et al. (2020) Variations in initial  $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$  ratios among fine-grained Ca-Al-rich inclusions from reduced CV chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 279, 1-15). Следовательно, конденсация и плавление CAIs происходили одновременно и продолжались не менее  $\sim0.4$  Муг. Абсолютные возраста тугоплавких включений в других группах не известны.

Показано что формирование хондр в CV хондритах началось одновременно с формированием тугоплавких включений и продолжалось  $\sim 3$  Муг. Данный вывод не согласуется с  $^{26}\text{Al}-^{26}\text{Mg}$  возрастами хондр в пределах одной группы хондритов, свидетельствующими об их быстрой аккреции после хондрообразования (Nagashima et al. (2018)  $^{26}\text{Al}-^{26}\text{Mg}$  systematics of chondrules. In *Chondrules and the Protoplanetary Disk*, eds. Russel S. S., Connolly H. C. Jr., Krot A. N., Cambridge University Press, pp. 247–275). Причины остаются неясными.

Установлен  $^{53}\text{Mn}-^{53}\text{Cr}$  возраст вторичной минерализации, связанной с гидротермальным изменением CV хондритов.

## Глава 4

Обнаружены и изучены дискообразные включения и предложена интересная модель их формирования – аэродинамическая пластическая деформация. Обнаружены и изучены составные и ультратугоплавкие включения. Показана роль процессов конденсации, смешения, плавления и испарения при образовании этих уникальных объектов. Важным результатом является обнаружение минералов-носителей ультратугоплавких спектров редкоземельных элементов. Обнаружен новый минерал – рубинит ( $\text{Ca}_3\text{Ti}^{3+}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ).

## Глава 5

Изучены тугоплавкие включения в CH и CV хондритах, характеризующиеся необычной минерологией и изотопным составом. Обнаружен новый минерал – дмитриевановит ( $\text{CaAl}_2\text{O}_4$ ). Теоретически исследованы процессы конденсации из газа солнечного и несолнечного состава, которые могли привести к формированию включений богатых гросситом и дмитриевановитом.

## Глава 6

Экспериментально исследованы процессы испарения, которые могли привести к формированию включений богатых гросситом. Эксперимент подтвердил правильность теоретических расчетов. Следует отметить, что вывод о генетической связи между шпинелевыми включениями CV3 хондритов и гроссит-гибонитовыми CAIs CH-CB хондритов является не совсем верным: полученные данные позволяют предполагать генетическую связь между шпинелевыми и гроссит-гибонитовыми CAIs. Тонкозернистые включения богатые гросситом, образовавшиеся в результате конденсации, присутствуют в CV хондритах. Однако они значительно крупнее, чем в CH хондритах и характеризуются каноническим отношением ( $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ )<sub>0</sub>.

Не смотря на незначительные замечания, автореферат демонстрирует, что работа М. А. Ивановой представляет собой законченное научное исследование эволюции первичного вещества протопланетного диска. Главные результаты диссертационного исследования, изложенные в главах 3-6 и суммированные в заключении, являются убедительными и представляют важный вклад в исследовании процессов в ранней солнечной системе.

Настоящая диссертационная работа отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор М. А. Иванова несомненно заслуживает присвоения учёной степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Крот Александр Николаевич,  
кандидат геолого-минералогических наук,  
профессор Гавайского Института Геофизики и Планетологии  
Гавайского Университета

Dr. Alexander N. Krot  
Hawaiian Institute of Geophysics and Planetology  
School of Ocean and Earth Science and Technology  
University of Hawai'i at Mānoa  
1680 East-West Road  
Honolulu, HI 96822, USA.  
voice: 1-808-956-3900  
e-mail: [sasha@higp.hawaii.edu](mailto:sasha@higp.hawaii.edu)

Я, Крот Александр Николаевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Dr. Alexander N. Krot  
Hawaiian Institute of Geophysics and Planetology  
School of Ocean and Earth Science and Technology  
University of Hawai'i at Mānoa  
1680 East-West Road  
Honolulu, HI 96822, USA.  
voice: 1-808-956-3900  
e-mail: [sasha@higp.hawaii.edu](mailto:sasha@higp.hawaii.edu)

*Sasha*  
7/26/2022

NOTARY ATTACHMENT *(PM, N.P.)*

State of Hawaii

County of Honolulu

}

On 07/26/2022

, before me, Raphaela M Lukan

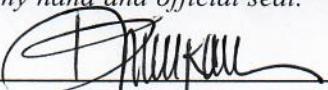
(here insert name of notary)

personally appeared ALEXANDER NICKOLAEVICH KROT

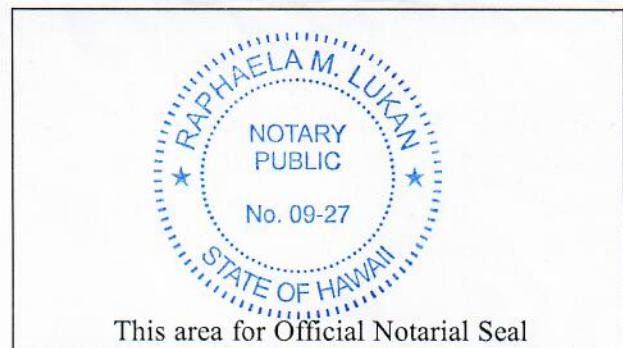
(name(s) of Signer(s))

personally known to me (or proved to me on the basis of satisfactory evidence) to be the person(s) whose name(s) is/are subscribed to the within instrument and acknowledged to me that he/she/they executed the same in his/her/their authorized capacity(ies), and that by his/her/their signature(s) on the instrument the person(s), or the entity upon behalf of which the person(s) acted, executed the instrument.

WITNESS my hand and official seal.

Signature  (SEAL)  
Raphaela M Lukan

My Commission Expires: Feb. 08, 2025



### NOTARY PUBLIC CERTIFICATION

Doc. Date: 07/26/2022

# Pages: 3

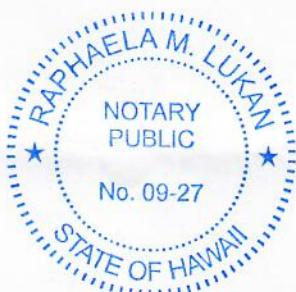
Notary Name: Raphaela M Lukan

Judicial Circuit: First

Doc. Description: REVIEW OF DOCTORATE THESIS

Notary Signature: 

Date: 07/26/2022



### ALL PURPOSE ACKNOWLEDGMENT