

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ивановой Марины Александровны **«Первое твердое вещество, образованное в Солнечной системе»**, представленную на соискание ученой 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 и хондр из CV и CH-CB углистых хондритов. Полученные данные использованы для изучения хронологии ранней Солнечной системы и процессов образования (конденсации, плавления и испарения) тугоплавких включений и хондр в протопланетном диске и в составе материнских тел хондритов.

Основными целями диссертационной работы явились реконструкция и хронология процессов преобразования вещества протопланетного диска в CAIs и хондрах и их последующих изменений на родительских астероидах, выявление механизмов, ответственных за химическое и изотопное фракционирование малоизученных типов вещества на самых ранних стадиях образования и обнаружение генетических связей между выделенными типами первичного вещества.

Актуальность работы, научная новизна, поставленные задачи, личный вклад соискателя и защищаемые положения не вызывают возражений.

В работе впервые впервые был рассчитан возраст образования Солнечной системы ^{207}Pb - ^{206}Pb методом на основании надежно определенных значений $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ отношений, полученных для каждого отдельного CAI CV хондритов и каждой хондры, построена хронологическая последовательность образования тугоплавких включений и хондр, подтвержден временной интервал их образования и впервые определено время преобразования минералов аккреционных кайм вокруг тугоплавких включений под действием водных флюидов или метасоматоза на родительских астероидах. Были детально изучены новые типы CAIs и их минералогия, в том числе уникальные составные и ультратугоплавкие включения. В процессе исследований были идентифицированы и зарегистрированы две новые минеральные фазы: дмитрийивановит CaAl_2O_4 и рубинит $\text{Ca}_3\text{Ti}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$. Наиболее важные выводы о возможной генетической связи между типами включений, полученные на основании петролого-геохимических наблюдения, были подтверждены с помощью экспериментальных работ и с помощью термодинамического моделирования процессов испарения.

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. В работе есть 2 приложения, в которых приведены итоговые элементные EDS карты изученных объектов исследования (помимо тех, которые представлены в главах диссертации), полученные в рентгеновских лучах, по которым определялся валовый химический состав каждого CAI и многочисленные таблицы расчетов составов CAIs при термодинамическом моделировании процесса испарения расплавов CAIs.

Во Введении представлены основные характеристики работы, сформулированы актуальность, новизна, цель и задачи исследования, сформулированы защищаемые положения и дана общая структура работы. Защищаемые положения достаточно аргументированы материалами диссертации.

Глава 1.

В первой главе диссертации приводится детальный литературный обзор современного состояния проблемы. Обзор выполнен на высоком уровне. Из него очевидна высокая квалификация соискателя, обоснованы поставленные цели и задачи исследования.

Глава 2.

Во второй главе представлены описания методов и методик, используемых в работе. При выполнении работы использовались самые современные аналитические методы (оптическая микроскопия, SEM, EBSD, EPMA, SIMS, TIMS, ICPMS, SRXRF), экспериментальные методы и теоретические расчеты.

Глава 3.

Глава посвящена определению возрастных характеристик первых твердых образований Солнечной системы. На основании полученных данных был установлен абсолютный возраст тугоплавких включений характеризующихся каноническим начальным $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ отношением $[(^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al})_0]$ из CV хондрита Ефремовка, который считается как начальный возраст формирования нашей Солнечной системы. Продолжительность формирования данных включений оценена в пределах 200 000 лет. Данный вывод распространяется на CV3 CAIs с каноническим $(^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al})_0, < 5.2 \times 10^{-5}$. Кроме этого, было показано, что некоторые мелкозернистые, богатые шпинелью CAIs конденсационного происхождения из CV хондритов, демонстрируют разброс исходного отношения $(^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al})_0: 3.4 \times 10^{-5} - 5.2 \times 10^{-5}$. Если принять во внимание эти оценки, для всех CAIs (с каноническим и неканоническим значением этого отношения), то процесс

конденсации и плавления CAIs происходил одновременно с общей продолжительностью не менее ~400 тысяч лет.

Автором было показано, что формирование хондр в CV хондритах началось одновременно с формированием тугоплавких включений и продолжалось ~ 3 Муг. Данный вывод не согласуется с ^{26}Al - ^{26}Mg возрастами хондр, имеющих разные $(^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al})_0$ отношения, канонические и неканонические. Причины этого феномена пока неясны. Возможным объяснением является гетерогенное распределение ^{26}Al в раннем веществе.

Установлен ^{53}Mn - ^{53}Cr возраст вторичных преобразований, обусловленный гидротермальными изменениями CV хондритов на их родительских астероидах.

Замечания к главе 3.

1) При определении временного интервала образования CAIs с помощью ^{26}Al - ^{26}Mg данных, непонятно насколько однородным было распределения ^{26}Al в изучаемых объектах. Если распределение гетерогенное, то определение интервала формирования не имеет смысла.

2) Возраст процессов постмагматических (постконденсационных) изменений на родительских телах определялся, используя геденбергит и кирштейнит по Cr-Mn изотопной системе. Важно было отметить при каких температурах стабильна ассоциация геденбергит-кирштейнит. А также, как эта температура достигалась в родительском теле.

Глава 4.

В главе дается минералого-петрографическая характеристика CAIs CV3 хондритов (в основном, из хондритов Ефремовка и NWA 3118). Среди большого количества исследованных CAIs (55 обособлений) были детально изучены уникальные по морфологии, минералогии и химическому составу включения. По морфологии были выделены включения в форме простого и вогнутого диска, которые образовались в результате пластической деформации во время их движения и торможения в протопланетном диске. Была предложена модель их формирования в результате аэродинамической пластической деформации. Для детального исследования из общей выборки изученных объектов были выделены составные и ультратугоплавкие включения. Была показана роль процессов конденсации, смешения, плавления и испарения при образовании этих уникальных объектов. Важным результатом исследования является обнаружение минералов-носителей ультратугоплавких спектров редкоземельных элементов и находка нового минерала – рубинита ($\text{Ca}_3\text{Ti}^{3+}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$).

Замечание к главе 4.

При описании нового минерала рубинита недостаточно освещен вопрос о его происхождении – конденсационном или метасоматическом.

Глава 5.

Глава посвящена изучению тугоплавких включений в СН и СВ хондритах, которые характеризуются необычной минералогией и изотопным составом. Популяция CAIs СН-СВ хондритов отличается от таковой в CV3 хондритах, что, находит отражение и в процессе их формирования, в разных условиях протекания процессов образования. Было изучено 70 CAIs из СН хондрита NWA 470 и СН-СВ хондрита Ишеево. Среди наиболее тугоплавких минеральных фаз был обнаружен новый минерал – дмитрийивановит (CaAl_2O_4), и были теоретически исследованы процессы конденсации из газа солнечного и несолнечного состава, которые могли привести к формированию включений богатых гросситом и дмитрийивановитом.

Глава 6.

В шестой главе представлены результаты экспериментальных исследований процессов испарения вещества, который мог привести к формированию наиболее тугоплавких включений богатых гросситом и гибонитом. Эксперимент подтвердил правильность термодинамических расчетов, которые основывались на теории ассоциированных растворов. Был сделан вывод о генетической связи между шпинелевыми тонкозернистыми включениями и гроссит-гибонитовыми CAIs.

Замечание к главе 6.

Осталось не совсем понятно, где и когда происходило преобразование шпинелевых тонкозернистых включений в компактные гибонитовые и гросситовые CAIs. Тонкозернистые шпинелевые включения образуются при конденсации, и они найдены как в CV3, так и в СН-СВ хондритах, только отличаются размером (наиболее мелкие в СН-СВ хондритах) и менее популярны в СН-СВ хондритах. На каком этапе произошло это преобразование, также осталось не ясным.

Главные результаты и выводы диссертационного исследования суммированы в заключении. Они являются убедительными и представляют важный вклад в исследовании процессов в ранней Солнечной системе. Защищаемые положения, сформулированные во введении, полностью соответствуют выводам, полученным в работе.

В работе есть некоторые опечатки и неточности. Несмотря на это, работа М.А. Ивановой представляет собой завершенное научное исследование эволюции первичного вещества протопланетного диска.

Таким образом, диссертационная работа «Первое твердое вещество, образованное в Солнечной системе» соответствует требованиям положения о присуждении ученых степеней ВАК при Минобрнауки РФ, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации N2842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Иванова Марина

Александровна, заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 — геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Литасов Константин Дмитриевич,

доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН,

заместитель директора по научной работе и главный научный сотрудник Лаборатории перспективных материалов и технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН.

180840 Москва, Троицк, Калужское шоссе, 14

Телефон организации: +7 (495) 851-05-82

Адрес электронной почты: litasov@hppi.troitsk.ru

02.09.2022 г. _____

Подпись К.Д. Литасова заверяю

Ученый секретарь

Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Института физики высоких

давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН

к.ф.-м.н.



_____ Т.В. Валянская