

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Антипина Александра Николаевича «Численное моделирование распределения температуры во внутренних областях Земли и Луны на стадии их аккумуляции», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Диссертационная работа А.Н.Антипина «Численное моделирование распределения температуры во внутренних областях Земли и Луны, на стадии их аккумуляции» посвящена важному для анализа процессов формирования Земли и Луны исследованию эволюции теплового режима этих планет в период их аккумуляции. Актуальность такой задачи обусловлена следующими причинами: (1) подробную информацию об этом периоде эволюции этих планет можно получить только в результате численного моделирования (по данным о моделях формирования планет), (2) в настоящее время появились новые данные об изотопном составе и мощности короткоживущих радиоактивных элементов в аккумуляруемом планетами веществе, (3) большое количество публикаций по этой теме также указывает на ее актуальность.

Диссертация А.Н.Антипина состоит из введения, 3 глав, заключения и списка цитируемой литературы (110 наименований), общий объем работы 77 страниц, содержащих 13 рисунков и 1 таблицу.

Во Введении диссертации А.Н.Антипина перечислены основные цели работы, отмечена её актуальность, приведено краткое содержание работы, отмечены новизна полученных результатов, практическая ценность работы, перечислены результаты, выносимые на защиту. По материалам диссертационной работы А.Н.Антипина опубликовано 15 научных работ, из них 2 в изданиях списка ВАК, 3 статьи в научных журналах и сборниках и 10 тезисов докладов. Результаты работы докладывались на международных и всероссийских научных конференциях.

В первой главе дан исторический обзор изучения проблемы формирования Земли и Луны, указаны основные полученные по этой теме результаты. Рассмотрены: ранние модели формирования Земли, влияние короткоживущих изотопов на тепловой режим формирующейся Земли, а также ряд вопросов моделирования тепловой эволюции планеты в процессе аккумуляции (тепловой баланс, механизмы нагрева и перемешивания верхнего слоя планеты), приведены необходимые графики и данные об энергобалансе Земли в первые 500 млн. лет (перечислены источники поступающей энергии и механизмы теплопереноса). Сделан вывод о необходимости подробного анализа тепловой эволюции планеты в период аккумуляции.

Первая глава является хорошим введением в проблему изучения ранних стадий эволюции Земли и Луны. Можно отметить лишь некоторую неполноту в обзоре работ по этой тематике за 2010-2016 г.г. (за исключением работ направления автора и его соавторов, другие работы, связанные, например, с изучением возможной роли мегаимпакта в формировании Земли и Луны не обсуждаются).

Во второй главе рассмотрена постановка задачи тепловой эволюции планеты в период аккумуляции с учетом адиабатического сжатия, задачи о движении границы раздела фаз и случайного распределения падающих тел на поверхность растущих Земли и Луны. Рассматривается двухстадийный механизм формирования Земли, допускающий согласование с ним образования Луны с дефицитом железа в ее составе и высокую первичную температуру в ее недрах. Для исследования тепловой эволюции, основанной на таком механизме формирования планеты, предполагается, что формирование Земли до массы современного ядра планеты происходило за счёт вещества преимущественно железного состава, в этом случае образование ядра происходило по мере роста планеты; дальнейшее формирование планеты проходило из тел преимущественно силикатного состава.

Математическое описание массоэнергопереноса в растущем самогравитирующем теле переменного радиуса в модели однокомпонентной жидко-

сти проводится путем постановки краевых задач для системы уравнений баланса импульса, энергии и сохранения массы вещества и задачи Стефана на границах областей с зонами расплава. Необходимые уравнения, формулы, соотношения для коэффициентов уравнений и величины параметров, входящих в уравнения приведены в разделе 2.2 диссертации. Распределение температуры в теле планеты увеличивающегося радиуса находится из численного решения краевой задачи для уравнения теплопроводности с учетом возможности появления расплава без явного выделения положения границы фронта кристаллизации и параметрического учета конвективного теплопереноса в расплаве, с учетом переноса тепла и нагревания за счёт адиабатического сжатия (уравнение (2.10) с начальными условиями (2.11) и граничными условиями (2.12)-(2.13)). Во 2-й главе диссертации приведены и обсуждаются также уравнение (2.39) и связанные с ним дифференциальные операторы (2.40)-(2.42), а также соответствующие им разностные операторы (2.43) для функции распределения температуры по сферическим координатам в растущей планете в момент времени t .

Из-за сложности рассматриваемых в диссертации процессов и механизмов представленное математическое описание тепловой эволюции Земли в период аккумуляции является упрощенным. Выбор значений для многих, используемых в уравнениях коэффициентов, обусловлен теоретическими оценками, основанными на различных предположениях. Использование сферической, гидростатически равновесной модели для растущей Земли (уравнения (2.30)-(2.32) в разделе 2.2 диссертации) при решении задачи теплопереноса также является ее упрощением. Кроме того, остается неясным, какова потеря точности полученного распределения температуры в растущей планете при замене нелинейных дифференциальных уравнений разностными схемами. Хотелось бы видеть в диссертации обсуждение точности полученных численно решений для температурных разрезов и распределений. Вместе с тем, выполненное А.Н.Антипиным построение численного алгоритма реше-

ния задачи теплопереноса в трехмерной постановке и соответствующего кода вычислений на ЭВМ является важным и значительным результатом работы.

В третьей главе диссертации обсуждаются выбор основных параметров моделей Земли и Луны и результаты выполненных численных экспериментов. На Рисунках. 3.1-3.3 приведены радиальные распределения температуры в модели растущей Земли при разных значениях параметров задачи, обсуждается влияние различных механизмов на температуру планеты на разных расстояниях от ее центра. Для моделирования неоднородного распределения температуры в поверхностном слое использовался стандартный генератор псевдослучайных чисел. Один из вариантов распределения температуры в поверхностном слое растущей планеты представлен на Рисунке 3.4. На Рисунках 3.5, 3.7 приведены термические разрезы 90-градусного сферического сектора модели Земли для разных моментов времени и размеров планеты. На Рис.3.6 приведен такой же разрез с распределением температуры в модели Луны. На всех этих рисунках видны неоднородности, возникающие от случайных ударов тел, падающих на планету. В работе сделаны выводы о состоянии этих планет на разных расстояниях от их центров.

Перечисленные результаты представляются интересными и важными для дальнейших исследований в этой области.

Отметим, что для моделирования эффекта случайно падающих тел на поверхность планеты необходим датчик формирования семи последовательностей псевдослучайных чисел (одна - для масс падающих тел и шесть - для координат и скоростей движения этих тел). К сожалению, методика такого моделирования (в том числе плотности распределений этих псевдослучайных чисел) в диссертации практически никак не описана.

В Заключении перечислены основные результаты работы.

К числу недостатков работы можно отнести иногда встречающиеся погрешности в изложении (опечатки: например, фамилия Маисеенко на стр. 37 и Моисеенко на стр. 70, неточности стиля и согласований слов в предложениях и др.), что затрудняет чтение работы. В разделах (параграфах) 2.2 и 2.3

работы есть две группы разных формул и уравнений с совпадающими номерами, начинающимися с номера (2.24) и далее до номера (2.36) включительно.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационную работу А.Н.Антипина можно рассматривать как важный и новый вклад в изучение процессов формирования Земли и Луны.

Результаты диссертации могут быть использованы в организациях, занимающихся исследованиями строения Земли и Луны и процессов их формирования. Материалы диссертации могут быть рекомендованы для использования в учебных программах университетов.

Основные результаты диссертации опубликованы в центральной печати и в трудах международных конференций. Автореферат вполне отражает содержание диссертации.

В целом, работа А.Н.Антипина «Численное моделирование распределения температуры во внутренних областях Земли и Луны на стадии их аккумуляции» является научно-квалификационной работой и отвечает требованиям действующего законодательства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Ее автор, Антипин Александр Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории ИЕНиМ УрФУ, доктор физико-математических наук,
профессор

В.М. Данилов

28 марта 2017 г.

Данилов Владимир Михайлович
 доктор физико-математических, наук, специальность ВАК 01.03.02 – «Астрофизика, радиоастрономия» (в настоящее время «Астрофизика и звездная астрономия»), главный научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории Института естественных наук и математики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (сокращенное название: ИЕНиМ УрФУ).

620000, г. Екатеринбург, просп. Ленина, 51

Телефон: +7 (343) 3 89 95 87

E-mail: vladimir.danilov@urfu.ru

Я, Данилов Владимир Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

В.М.Данилов

Подпись главного научного сотрудника Коуровской астрономической обсерватории ИЕНиМ УрФУ, доктора физико-математических наук, профессора Данилова Владимира Михайловича заверяю.

Ученый секретарь ИЕНиМ УрФУ
 канд. физ.-мат. наук



Л.А. Памятных