

ОТЗЫВ

**официального оппонента о диссертации Мингалева Игоря Викторовича
«Численное моделирование общей циркуляции атмосфер Земли, Венеры и Титана,
а также процессов образования циклонов в атмосфере Земли»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ**

Диссертация И.В. Мингалева посвящена численному моделированию общей циркуляции атмосфер Венеры, Титана и Земли, моделированию процессов формирования циклонических вихрей в приэкваториальной области тропосферы Земли, а также созданию моделей общей циркуляции атмосфер Земли, Венеры и Титана, основанных на численном интегрировании полных уравнений газовой динамики. В области численного моделирования общей циркуляции планетных атмосфер и динамических процессов в этих атмосферах, к которой относится диссертация, за последние годы появились новые возможности, связанные с быстрым ростом вычислительной производительности компьютеров, использующих параллельные вычисления на графических процессорах. В области физики планетных атмосфер и атмосферы Земли быстро увеличивается количество и качество наблюдательных данных, стремительно возрастающих по объему, полноте и систематичности благодаря как наземным, так и космическим орбитальным инструментам нового поколения. Для интерпретации современных наблюдательных данных необходимы модели общей циркуляции планетных атмосфер, в которые заложено описание физических процессов на максимально возможном уровне точности, который допускает вычислительная производительность компьютеров. Созданные в диссертации модели общей циркуляции атмосфер Земли, Венеры и Титана предназначены для решения этой проблемы. Проведенные в диссертации исследования нацелены на выявление и изучение ключевых физических механизмов, управляющих циркуляцией атмосфер Земли, Венеры и Титана. Для сравнения с результатами моделирования используется современный наблюдательный материал.

Дадим краткую сводку содержащихся в диссертации новых научных результатов.

В ее первой главе впервые детально изложена общая методика построения моделей общей циркуляции планетных атмосфер, основанных на численном интегрировании уравнений газовой динамики, а также построены явные разностные схемы 2-го порядка точности для интегрирования этих уравнений и методы программной реализации этих моделей с использованием массивно-параллельных вычислений на графических процессорах. Впервые созданы варианты явной консервативной монотонной гибридной разностной схемы для численного интегрирования системы уравнений газовой динамики с учетом ускорения внешних массовых сил. Эти варианты обеспечивают 2-й порядок точности и отсутствие нефизического разогрева или выхолаживания планетных атмосфер при проведении расчетов с одинарной точностью на сколь угодно большом промежутке времени. Впервые построена система уравнений, описывающая динамику смеси воздуха, водяного пара и аэрозолей из микрокапель воды и микрочастиц льда с учетом фазовых переходов между различными

состояниями воды, а также создана методика численного интегрирования этой системы, использующая построенную в этой работе явную гибридную схему.

Во второй главе с помощью численного моделирования проведено исследование физических механизмов, которые формируют особенности общей циркуляции атмосферы Венеры. В этой главе впервые создана программная реализация модели общей циркуляции атмосферы Венеры с учетом рельефа поверхности, основанной на численном интегрировании полной системы уравнений газовой динамики со 2-м порядком точности, на пространственной сетке с высоким разрешением, а также параллельные вычисления на нескольких графических процессорах одновременно. С помощью этой модели методом численного моделирования исследованы и объяснены важные закономерности общей циркуляции атмосферы Венеры, а также изучено влияние рельефа на эту циркуляцию. Впервые показано, что внутренние гравитационные волны, наблюдаемые в атмосфере Венеры над облачным слоем, возникают из-за генерации горных подветренных волн при обтекании рельефа поверхности зональным течением. Установлено, что эти подветренные волны являются причиной формирования в средней и верхней атмосфере системы волн, усиливающих вертикальный перенос.

В третьей главе проведено исследование общей циркуляции атмосферы Титана при помощи численного моделирования. В этой главе впервые создана программная реализация модели общей циркуляции атмосферы Титана с учетом рельефа поверхности, основанной на численном интегрировании полной системы уравнений газовой динамики со 2-м порядком точности, на пространственной сетке с высоким разрешением, а также параллельные вычисления на нескольких графических процессорах одновременно. С помощью этой модели методом численного моделирования получены важные закономерности общей циркуляции атмосферы Титана при смене сезонов от весеннего равноденствия до середины лета в северном полушарии, и изучено влияние рельефа на эту циркуляцию.

Четвертая глава посвящена описанию двух моделей общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли и представлению результатов моделирования, полученных с помощью этих моделей. Исследована динамика сдвиговых течений в тропосфере. Впервые исследовано влияние солнечной активности на крупномасштабную циркуляцию стратосферы и мезосферы Земли.

В пятой главе проведено численное моделирование развития неустойчивости сдвигового течения во внутритропической зоне конвергенции, и показано, что в случае, когда в этом течении имеется достаточно большой горизонтальный градиент горизонтальной составляющей ветра, появление искривленных участков этого течения приводит к развитию гидродинамической неустойчивости и распаду этого течения с образованием за 40-70 часов крупномасштабных циклонических вихрей диаметром 800-1200 км. Впервые установлен физический механизм образования крупномасштабных циклонических вихрей в районе внутритропической зоны конвергенции, и обоснована методика прогноза их образования.

Как видно из этого краткого перечня основных тем и результатов диссертации, в ней представлены исследования, охватывающие широкий круг динамических процессов в атмосферах Земли, Венеры и Титана. Особое значение имеют созданные в диссертации газодинамические модели общей циркуляции атмосфер Земли, Венеры и Титана, которые являются новым мощным инструментом для исследования динамики этих атмосфер. Это

несомненный успех работы. Столь же важен установленный физический механизм образования крупномасштабных циклонических вихрей в районе внутритропической зоны конвергенции в результате развития неустойчивости сдвигового течения.

Переходя к общей оценке работы, следует в первую очередь обратить внимание на высокий уровень математического моделирования. Автор демонстрирует свободное владение приемами и методами современной вычислительной математики и технологиями использования параллельных вычислений. Автор проявляет также хорошее знание физики атмосферы и владение необходимым наблюдательным материалом.

Диссертационная работа И.В. Мингалева содержит важные новые результаты в областях вычислительной математики и физики атмосфер Земли, Венеры и Титана. Эта работа открывает новое направление в вычислительной математике - создание моделей общей циркуляции планетных атмосфер, основанных на численном интегрировании полных уравнений газовой динамики и использовании массивно-параллельных вычислений на графических процессорах.

Основные результаты диссертации точно и полно изложены в разделе "Положения, выносимые на защиту". Текст автореферата полностью отражает содержание диссертации.

Содержание диссертации полностью соответствует специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Основные результаты опубликованы в 21 статье из списка рецензируемых журналов ВАК.

Диссертационная работа Мингалева Игоря Викторовича удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор И.В.Мингалев несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

А.Д. Чернин
Доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник
Отдел внегалактической астрономии, ГАИШ МГУ
Университетский пр., 13, Москва 119991



Отзыв составлен 26 февраля 2016 г

Чернин Артур Давидович, chernin@sai.msu.ru; тел. 495 939 1622
Список работ прилагается

Подпись А.Д. Чернина заверяет начальник отдела канцелярии ГАИШ МГУ
Л.Н. Новикова

