



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№ 11204 /
на № _____ от _____



“УТВЕРЖДАЮ”

Зам. директора ИКИ РАН
доктор физ.-мат. наук
Р.Р. Назиров

« _____ » 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института космических исследований РАН на диссертацию
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**

Диссертационная работа И.В. Мингалева посвящена численному моделированию глобальной и мезомасштабной циркуляции планетных атмосфер путем решения полной системы уравнений газовой динамики. Она обобщает исследования, ведущиеся автором и руководимым им коллективом уже в течение XX лет. Избранный автором метод применяется в моделировании атмосфер Земли и других планет Солнечной системы нечасто. Как правило, модели глобальной циркуляции (МГЦ) основаны на так называемых уравнениях метеорологии, использующих ряд приближений, центральным из которых является приближение гидростатического равновесия. Однако с повышением пространственного разрешения расчетных сеток, а также с ростом производительности вычислительных систем, несовершенство моделей, основанных на гидростатическом приближении, становится все более заметным. Разработка негидростатических моделей, предназначенных для прогноза погоды, моделирования глобального и регионального климата и т.п. ведется крупнейшими научными центрами мира с 1990-х гг. Однако и эти модели, как правило, не используют полную систему уравнений газовой динамики, и требуют применения многочисленных параметризаций. Реализация глобальных и мезомасштабных динамических моделей планетных атмосфер является, безусловно, неизбежным дальнейшим шагом, и актуальность выбранной автором тематики не вызывает сомнений.



Несмотря на то, что численное моделирование газодинамических процессов можно считать хорошо устоявшейся областью прикладной математики, атмосферы планет являются чрезвычайно сложным объектом для моделирования. Существенная анизотропия среды, отсутствие симметрии, вариации давления и плотности среды в расчетной области на 8-10 порядков величины, наличие большого числа типов волн и неустойчивостей, а также длительность атмосферных процессов во времени составляет лишь часть сложностей, с которыми приходится встречаться при численном моделировании планетных атмосфер. В силу этого, в отличие от традиционных гидростатических моделей, при газодинамическом моделировании атмосферной динамики приходится преодолевать ряд существенных технических сложностей, в частности, работать с плотными пространственными сетками, что накладывает ограничения на производительность моделей. Необходимо отметить, что диссертант безупречно справился с многочисленными трудностями и реализовал в виде переносимого, масштабируемого программного комплекса динамическое ядро ряда моделей, описывающих атмосферы с совершенно различными типами циркуляции. Это говорит о том, что данное исследование внесло существенный вклад в развитие направления прикладной математики, связанного с численным моделированием планетных атмосфер и, таким образом, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация И.В.Мингалева состоит из пяти глав. Первая глава описывает общую постановку задачи моделирования динамики атмосферы планеты земного типа на основе системы уравнений газовой динамики, разработанную автором реализацию численной схемы решения задачи, а также методы учета физических свойств планеты и атмосферы – рельефа поверхности, фазовых переходов в облаках, радиационного нагрева и выхолаживания атмосферы. Вторая, третья и четвертая главы посвящены реализации и результатам численных моделей атмосфер Венеры, Титана и Земли на основе разработанного численного метода. Пятая глава посвящена мезомасштабному моделированию процесса зарождения тропических циклонов в атмосфере Земли.

Каждая из глав представляет результаты законченных исследований, посвященных современным проблемам атмосферной динамики. В случае атмосфер Венеры и Титана автором делается вывод о ведущей роли термического прилива в поддержании зональной суперротации. Хотя этот вывод не является новым и подтверждает выводы других авторов, на газодинамических моделях этот процесс исследован впервые. Уникальным для численного моделирования атмосфер Венеры и Титана является пространственное разрешение расчетных сеток порядка 1° географических координат по горизонтали и несколько сот метров по вертикали, что, наряду с отсутствием ограничений гидростатики, позволило детально разрешить ряд волновых возмущений атмосферных течений деталями рельефа поверхности, в частности, впервые воспроизвести в численной модели атмосферы Венеры имеющие негидростатическую природу волны Ли, создаваемые горами

Максвелла. В модели общей циркуляции атмосферы Земли исследовано влияние солнечной активности на глобальную циркуляцию мезосферы с учетом увлечения нейтральной составляющей атмосферы ионосферными токами, а также гипотеза о зарождении тропических циклонов в результате развития гидродинамической неустойчивости сдвигового течения и его последующего распада на нелинейной стадии.

Несмотря на то, что приведенные выше результаты являются достаточно частными, они укладываются в единую канву применения газодинамического моделирования как универсального метода решения широкого класса задач. Мезомасштабное моделирование в диссертационной работе стоит несколько особняком, и выдвинутая автором гипотеза, имеющая в научном сообществе как сторонников, так и противников, нуждается в более тщательном обосновании и могла бы составить предмет докторской диссертации сама по себе. Тем не менее, диссертация производит впечатление единого, самодостаточного исследования, целью которого является создание инструмента численного моделирования планетных атмосфер, обладающего новыми возможностями. Поэтому, на мой взгляд, включение задач достаточно разнородного характера из физики атмосферы и планетологии в диссертационную работу по специальности 05.13.18 вполне уместно, поскольку позволяет лучше проиллюстрировать универсальность и новые возможности этого инструмента. В этой универсальности, а также в возможности исследования негидростатических эффектов, недоступных традиционным моделям, видится основная практическая ценность работы.

Диссертация И.В. Мингалева не свободна от недостатков. Наибольшие вопросы вызывает время установления квазистационарного режима циркуляции атмосфер Венеры и Титана, которое автор оценивает, без строгих критериев, по отсутствию качественных изменений картины циркуляции на достаточно ограниченном масштабе времени. Несмотря на применение автором и его коллегами оригинальных и ярких решений с целью повышения производительности, в частности, использование гибридных вычислений при помощи графических ускорителей, именно производительность и доступный для моделирования временной интервал является главным ограничением применения этих моделей. Выбранная автором схема параметризации радиационных процессов в атмосфере при помощи релаксационного приближения выглядит достаточно архаично на фоне современных трехмерных моделей. Вместе с тем, понятно, что создание комплексной модели с полноценным радиационным блоком является задачей не одного автора, а целого научного коллектива, и, без сомнений, эта задача будет решена в обозримом будущем. Вызывают вопросы некоторые иллюстрации, трудно читаемые и не всегда представленные в удачно выбранных координатах. В частности, представление системы циркуляции атмосферы Венеры в координатах местного времени, а не долготы, было бы намного более наглядным. Системы полярных вихрей в атмосферах Венеры и Титана также могли быть более наглядно представлены в полярных координатах. Серьезным замечанием является достаточно узкий круг журналов, в которых

опубликованные полученные автором результаты. Публикации автора в зарубежных журналах, специализирующихся на исследовании планетных атмосфер, крайне скудны, в результате чего международное сообщество, активно работающее над проблемами динамики атмосфер Венеры и Титана, не имеет возможности ознакомиться с результатами автора.

Высказанные замечания не умаляют достоинств работы, а ведущий личный вклад автора в полученные результаты очевиден как из самой диссертации, так и из приведенного списка литературы. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Все результаты опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК. Результаты диссертации имеют важное практическое значение не только в задачах метеорологии и исследования климата Земли, но и при подготовке миссий межпланетных автоматических станций к Венере. Считаю, что диссертация И.В. Мингалева удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а автор заслуживает присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв составил заведующий отделом Физики планет ИКИ РАН доктор физ.-мат. наук Олег Игоревич Кораблев.

Отзыв обсужден и одобрен на семинаре отдела Физики планет ИКИ РАН 26.02.2016 г., протокол № 1

Зав. отделом физики планет ИКИ РАН
доктор физ.-мат. наук



О.И. Кораблев

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, ИКИ РАН, телефон: +7 (495) 333-00-17,
E-mail: iki@cosmos.ru

Подпись О.И.Кораблева подтверждаю:

Ученый секретарь ИКИ РАН
доктор физ.-мат. наук



А.В. Захаров