

Результаты публичной защиты

Дата защиты: 17 марта 2016 г.

Соискатель: Мингалев Игорь Викторович.

Диссертация «Моделирование общей циркуляции атмосфер Земли, Венеры и Титана, а также процессов образования циклонов в атмосфере Земли» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заседание ведет: Четверушкин Борис Николаевич, председатель диссертационного совета.

На заседании из 25 членов диссертационного совета присутствуют 19:

1.	ЧЕТВЕРУШКИН Б.Н.	д.ф.-м.н.	05.13.18
2.	ТИШКИН В.Ф.	д.ф.-м.н.	01.01.07
3.	КАЛИТКИН Н.Н.	д.ф.-м.н.	01.02.05
4.	КОРНИЛИНА М.А.	к.ф.-м.н.	05.13.18
5.	ВАСИЛЕВСКИЙ Ю.В.	д.ф.-м.н.	01.01.07
6.	ГАСИЛОВ В.А.	д.ф.-м.н.	01.02.05
7.	ГОЛОВИЗНИН В.М.	д.ф.-м.н.	01.02.05
8.	ДОЛГОЛЕВА Г.В.	д.ф.-м.н.	01.01.07
9.	ЕЛИЗАРОВА Т.Г.	д.ф.-м.н.	01.02.05
10.	ЗМИТРЕНКО Н.В.	д.ф.-м.н.	01.02.05
11.	КОВАЛЕВ В.Ф.	д.ф.-м.н.	05.13.18
12.	КОЛЕСНИЧЕНКО А.В.	д.ф.-м.н.	05.13.18
13.	ЛУЦКИЙ А.Е.	д.ф.-м.н.	01.02.05
14.	МАЖУКИН В.И.	д.ф.-м.н.	05.13.18
15.	МИЛЮКОВА О.Ю.	д.ф.-м.н.	01.01.07
16.	МИХАЙЛОВ А.П.	д.ф.-м.н.	05.13.18
17.	ПЕТРОВ И.Б.	д.ф.-м.н.	01.02.05
18.	ПОЛЯКОВ С.В.	д.ф.-м.н.	01.02.05
19.	ЯКОВОВСКИЙ М.В.	д.ф.-м.н.	05.13.18

Докторов по профилю диссертации - 6. Кворум имеется.

По результатам публичной защиты диссертационный совет принял следующее заключение:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.024.03 НА БАЗЕ
ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ им. М.В. Келдыша РАН ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «17» марта 2016 г., № 4

О присуждении **Мингалеву Игорю Викторовичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Численное моделирование общей циркуляции атмосфер Земли, Венеры и Титана, а также процессов образования циклонов в атмосфере Земли» по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 03 декабря 2015 года, протокол № 17, диссертационным советом Д002.024.03 на базе ФГБУН Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 125047, Москва, Миусская пл., д.4, приказ №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель **Мингалев Игорь Викторович**, 1969 года рождения, окончил Московский физико-технический институт в 1992 году по специальности прикладная математика и физика. Диссертацию по теме «Глобальная разрешимость задачи Коши для системы уравнений Власова-Пуассона с различными интегралами столкновений» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.03 - Математическая физика защитил в 1995 году в диссертационном совете Д002.024.02, созданном на базе Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.

Работает старшим научным сотрудником в ФГБУН «Полярный геофизический институт» РАН.

Диссертация выполнена в секторе № 503 «Сектор вычислительного эксперимента» Полярного геофизического института РАН.

Официальные оппоненты:

1. **Бисикало Дмитрий Валерьевич**, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор, ФГБУН Институт астрономии Российской академии наук, временно исполняющий обязанности Директора;

2. **Чернин Артур Давидович**, доктор технических наук, профессор, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, главный научный сотрудник;

3. **Орлов Юрий Николаевич**, доктор физико-математических наук, доцент, ФГУ ФИЦ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, исполняющий обязанности заведующего отделом,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБУН Институт космических исследований РАН, г. Москва, в своем положительном заключении, составленном зав. отделом физики планет, д.ф.-м.н. Кораблевым Олегом Игоревичем, и утвержденном заместителем директора д.ф.-м.н. Назировым Равилем Равильевичем, указала, что «диссертационная работа Мингалев И.В. 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.

...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. ...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.

...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».

По работе имеются следующие замечания:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

В диссертации имеются ссылки на 21 научную работу соискателя по теме диссертации в виде научных статей в отечественных и зарубежных журналах из списка ВАК и ведущих зарубежных рецензируемых научных журналах. Среди них:

1. Мингалев В.С., Мингалев И.В., Мингалев О.В., Опарин А.М., Орлов К.Г. «Обобщение монотонной гибридной схемы второго порядка для уравнений газовой динамики на случай нерегулярной пространственной сетки», Журнал вычислительной математики и математической физики. 2010. Т. 50, № 5. С. 923-936.
2. Мингалев И.В., Родин А.В., Орлов К.Г. «Негидростатическая модель общей циркуляции атмосферы Венеры», Астрономический вестник. 2012. Т. 46, № 4. С. 282-296.
3. Mingalev I., Mingaleva G., Mingalev V. «A simulation study of the effect of geomagnetic activity on the global circulation in the Earth's middle atmosphere», Atmospheric and Climate Sciences, Vol. 3, No. 3A, 2013, pp. 8-19, doi:10.4236/acs.2013.33A002.
4. Mingalev I.V., Astafieva N.M., Orlov K.G., Mingalev V.S., Mingalev O.V., Chechetkin V.M. «Numerical modeling of the initial formation of cyclonic vortices at tropical latitudes», Atmospheric and Climate Sciences, 2014, Vol. 4, pp. 899-906.
5. Мингалев И. В., Родин А. В., Орлов К. Г. «Численное моделирование общей циркуляции атмосферы Венеры. Влияние рельефа поверхности и режима нагрева излучением», Астрономический вестник. 2015. Т. 49, № 1, С. 27-45.

На автореферат диссертации поступил 1 отзыв, от Карпова Ивана Викторовича, д.ф.-м.н., профессора, ведущего научного сотрудника Калининградского филиала ИЗМИРАН. Отзыв положительный.

В отзыве указано, что «главным достоинством исследований выполненных Мигалевым И.В. является создание устойчивых численных методов интегрирования уравнений гидродинамики с высоким пространственным и временным разрешением и программная реализация на много процессорных системах с применением алгоритмов параллельных вычислений. В диссертационных исследованиях развитые методы интегрирования уравнений применяются для моделирования динамики атмосфер Земли, Венеры и Титана.

Из содержания автореферата следует, что автором реализованы модели общей циркуляции упомянутых планет и получены новые и важные научные результаты, касающиеся механизмов генерации тропических циклонов в атмосфере Земли, объяснения наблюдаемых особенностей циркуляции Венеры и Титана. Не вызывает сомнений, что разработанные модели являются важным шагом в развитии методов математического моделирования в применении к исследованию планетных атмосфер. Сложность разработанных моделей и объем исследований, выполненных с их применением характеризуют Мингалеву И.В. как высококвалифицированного специалиста в области численных исследований атмосфер планет».

Отзыв содержит следующие замечания:

1. В автореферате утверждается, что впервые созданы модели общей циркуляции атмосфер, основанные на численном интегрировании полной системы уравнений газовой динамики.

Как известно, математическое моделирование общей циркуляции атмосферы развивается достаточно давно. Реализованные версии моделей атмосфер, как правило, "крупномасштабные" - т.е. имеют пространственное и временное разрешение значительно более низкое, чем в моделях

разработанных автором. Это принципиальное достоинство моделей Мингалева И.В. Однако, системы уравнений гидродинамики для атмосфер с учетом широкого спектра развивающихся процессов сформулированы давно и непонятно, что нового и впервые включено в уравнения моделей автора.

2. Разработанные модели учитывают рельеф поверхности планет. Однако в автореферате ничего не говорится о том, каким образом это делается и насколько известен этот рельеф?

3. К сожалению, в автореферате не приводятся ни системы моделируемых уравнений, ни иллюстрации результатов. Это не позволяет в полной мере оценить новизну предлагаемых моделей и результатов, полученных при их применении.

4. В формулировке положений выносимых на защиту в п.4 указывается "Впервые исследовано влияние солнечной активности на крупномасштабную циркуляцию стратосферы и мезосферы Земли ...". Подобных исследований в практике моделирования средней атмосферы было достаточно. Приведенная формулировка не отражает суть результата полученного автором.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации объясняется их широко известной компетенцией в вопросах математического моделирования, методов численного интегрирования уравнений газовой, физики планетных атмосфер, высоким квалификационным уровнем и знакомством с защищаемой проблематикой.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. **разработаны** новые варианты явной консервативной монотонной гибридной разностной схемы для численного интегрирования системы уравнений газовой динамики с учетом ускорения внешних массовых сил, которые обеспечивают 2-й порядок точности и отсутствие нефизического разогрева или выхолаживания атмосферы при проведении расчетов на сколь угодно большом промежутке времени;

2. **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;

3. **созданы** программные реализации моделей общей циркуляции атмосфер Земли, Венеры и Титана с учетом рельефа поверхности, основанных на численном интегрировании полной системы уравнений газовой динамики со 2-м порядком точности, причем в моделях используются пространственные сетки с высоким разрешением, а также параллельные вычисления на нескольких графических процессорах одновременно;

4. **исследованы** с помощью численного моделирования и объяснены важные закономерности общей циркуляции атмосферы Венеры, а также изучено влияние рельефа на эту циркуляцию;

5. **показано**, что наблюдаемые в атмосфере Венеры внутренние гравитационные волны возникают из-за генерации горных подветренных волн при обтекании рельефа поверхности зональным течением, и что эти подветренные волны являются причиной формирования в средней и верхней атмосфере системы волн, усиливающих вертикальный перенос;

6. с помощью численного моделирования в рамках полной системы уравнений газовой динамики эволюции общей циркуляции атмосферы Титана при смене сезонов **получены** четыре важных закономерности этой циркуляции и изучено влияние рельефа на эту циркуляцию;

7. **исследовано** влияние солнечной активности на крупномасштабную циркуляцию стратосферы и мезосферы Земли;

8. **проведено** численное моделирование развития неустойчивости сдвигового течения во внутритропической зоне конвергенции, установлен физический механизм образования крупномасштабных циклонических

вихрей в районе внутритропической зоны конвергенции, и обоснована методика прогноза их образования.

Рассматриваемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена крупная научная проблема: разработаны модели общей циркуляции атмосфер Земли, Венеры и Титана, основанные на численном интегрировании полных уравнений газовой динамики на пространственной сетке с высоким разрешением. Эти модели максимально используют возможности массивно-параллельных вычислений на графических процессорах и позволяют решать широкий класс задач в области физики атмосфер Земли, Венеры и Титана с высокой точностью и с приемлемыми вычислительными затратами.

Достоверность полученных результатов подтверждена корректностью применения уравнений газовой динамики, высокой точностью применяемых численных методов, результатами тестовых расчетов, а также согласием между результатами численного моделирования и данными наблюдений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в работе представлена общая методика построения моделей общей циркуляции планетных атмосфер, основанных на численном интегрировании уравнений газовой динамики, новые варианты явной гибридной разностной схемы для численного интегрирования системы уравнений газовой динамики, новая методика численного интегрирования системы уравнений динамики смеси воздуха, водяного пара и аэрозолей из микрокапель воды и микрочастиц льда с учетом фазовых переходов между различными агрегатными состояниями воды, использующая упомянутую выше явную гибридную схему. Также научную ценность представляют выявленные с помощью моделирования закономерности общей циркуляции атмосфер Земли, Венеры и Титана и механизм образования циклонических вихрей в районе внутритропической зоны конвергенции.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что разработаны программные реализации моделей, в которых используются

параллельные вычисления на графических процессорах, и в том, что результаты численного моделирования общей циркуляции атмосфер Венеры и Титана позволяют лучше интерпретировать данные наблюдений и могут быть использованы при планировании научных исследований для новых полетов к Венере и Титану автоматических космических аппаратов. Также практическую ценность представляет изложенный в данной диссертации метод прогноза образования циклонических вихрей в районе внутритропической зоны конвергенции.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все выносимые на защиту результаты получены под руководством и при непосредственном участии автора. При подготовке основных публикаций, отражающих содержание диссертации, автор участвовал в определении цели работ, выполнял постановки задач и разрабатывал численные методы, участвовал в написании и отладке программ, проведении расчетов, визуализации и анализе результатов моделирования и их сравнении с данными наблюдений, формулировке выводов.

Диссертация охватывает все основные вопросы поставленной научной задачи, является целостным и законченным научным исследованием.

На своём заседании 17 марта 2016 года диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Мингалева И.В. представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, которые установлены Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Мингалеву Игорю Викторовичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них – 6 докторов по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек,

входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – нет,
недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета

Д 002.024.03, академик РАН _____ Б.Н. Четверушкин

Учёный секретарь диссертационного

совета Д 002.024.03, к.ф.-м.н. _____ М.А. Корнилина

«18» марта 2016 года