

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Шаповалова Виталия Александровича «Закономерности формирования макро- и микроструктурных характеристик грозоградовых облаков с учетом взаимодействия термогидродинамических, микрофизических и электрических процессов», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология.

Физика облаков представляет значительный интерес для человечества, так как облачность и осадки оказывают значительное влияние на хозяйственную деятельность людей. В связи с усиливающимся влиянием человеческой деятельности на климат изучение физических процессов в облаках и связей между отдельными процессами будет способствовать решению многих задач, возникающих в гидрометеорологии. Несмотря на существенные успехи в физике облаков и численном моделировании облачности, многие вопросы в этой области исследованы еще недостаточно. Это можно сказать, в частности, об электрических процессах в облаках, о взаимодействии процессов различных масштабов. Численное моделирование является одним из основных методов исследования в физике грозоградовых облаков, особенно при изучении взаимодействия различных процессов и взаимосвязи их с окружающей атмосферой. Эти задачи практически невозможно решить другими методами. Разрабатываемые физически обоснованные методы предотвращения града и искусственного увеличения осадков из облаков должны опираться на результаты математического моделирования результатов внесения в облачную среду тех или иных типов реагентов.

Диссертационная работа В.А. Шаповалова посвящена разработке трехмерной численной модели облака и исследованию на ее основе ряда актуальных для физики облаков вопросов, в частности: формирования термодинамических, микроструктурных и электрических параметров

мощных конвективных облаков при различных состояниях атмосферы, исследованию взаимодействия различных физических процессов в мощных облаках, моделированию засева облаков реагентом. Значимость и актуальность работы не вызывают сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, двух приложений. Объем диссертационной работы составляет 335 страниц, список литературы содержит 282 работы.

В первой главе приведены результаты аналитического обзора литературных источников по теме исследования, рассмотрены методические вопросы численного моделирования конвективных облаков, учет в моделях электрических процессов, выделены вопросы, которые требуют дальнейших исследований.

Во второй главе рассматривается разработанная автором трехмерная нестационарная численная модель конвективных облаков, которая отличается от аналогов детальным учетом термодинамических, микрофизических и электрических процессов. В модели используется детальное описание микрофизики на основе решения кинетических уравнений для нескольких десятков классов жидких и твердых частиц, которые связаны коагуляционными процессами, переходом капель в классы ледяных частиц при замерзании, и другие. В модели учитываются: накопление зарядов в облаке, напряженность электрического поля, электрическая коагуляция облачных частиц. Разработана методика формирования трехмерных исходных данных при инициализации модели. Материалы этой главы подтверждают первое научное положение, выносимое на защиту.

Разработанная трехмерная численная модель конвективного облака с детальным учетом термодинамических, микрофизических и электрических процессов может применяться для исследований по физике облаков, расчета параметров жидких и твердых осадков при естественном развитии и активных воздействиях.

Система уравнений модели решается методами расщепления по

физическим процессам и по координатного расщепления. Результаты тестирования и валидации модели продемонстрировали удовлетворительную точность реализованных численных методов и алгоритмов расчетов. Результаты расчетов интерпретировались с использованием авторской программы трехмерной визуализации данных, которая специально создавалась для изучения облаков, что в дальнейшем позволило нагляднее представить распределение параметров, представляющих интерес, и их изменение в процессе эволюции облака.

Достоверность численной модели обеспечена корректностью постановки задачи, системы уравнений, начальных и граничных условий, применением хорошо зарекомендовавших себя численных методов, которые успешно используются при моделировании облаков и решении аналогичных уравнений. Решены различные тестовые задачи, подтверждающие удовлетворительную точность вычислительных схем и алгоритмов, а также адекватность разработанной модели в целом.

В третьей главе с помощью анализа множества численных экспериментов на основе разработанной модели автору впервые удалось изучить закономерности формирования микроструктурных и электрических характеристик конвективных облаков при естественном их развитии с учетом взаимодействия физических процессов между собой. Установлено что, микроструктурные и электрические параметры активно влияют друг на друга на стадии роста облака. Показана значимость взаимодействия термодинамических, микрофизических и электрических процессов в образовании осадков в мощных конвективных облаках. Получена количественная оценка влияния электрической коагуляции на скорость образования осадков в мощных облаках. Выявлена пространственная структура объемных электрических зарядов в облаке, трехмерное распределение напряженности электрического поля. Определена динамика изменения характеристик грозоградовых облаков на стадии роста и максимального развития. Исследовано влияние вертикального распределения температуры и влажности в атмосфере и трехмерной

структуры горизонтального ветра. Полученные результаты подтверждают второе, третье, четвертое и пятое научные положения, выносимые на защиту.

Полученные в численных экспериментах результаты позволяют расширить и углубить существующие теоретические представления о формировании микроструктурных характеристик конвективных облаков при различных условиях их образования и развития. Проведенное в работе исследование взаимодействия различных процессов в облаках расширяет теоретические знания по физике облаков.

В четвертой главе представлены результаты численных экспериментов, проведенных для выяснения влияния активного воздействия на градоопасность облаков. Исследовалось изменение микроструктурных характеристик облаков и изменения их градоопасности в зависимости от концентрации кристаллизующего реагента, места его воздействия на облако, геометрии источника и стадии развития облака, для чего варьировались параметры источника кристаллизующего реагента. Получено, что внесением в облако мелких искусственных кристаллов можно регулировать число образующихся крупных градин. Изложенные в главе результаты подтверждают шесте и седьмое научные положения, выносимые на защиту.

Предлагаемая модель конвективных облаков может быть использована для численных экспериментов с целью усовершенствования существующих и разработки новых методов регулирования осадков из конвективных облаков в различных регионах, с различными термодинамическими условиями. Результаты численных экспериментов на основе разработанной модели применимы для анализа эффективности методов активного воздействия на градовые облака.

В пятой главе изложено разработанное автором диссертации, совместно с другими исполнителями, программно-математическое обеспечение приема, анализа и отображения информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С и прикладное программное обеспечение для объединения радиолокационной, грозопеленгационной и

спутниковой информации для идентификации опасных явлений погоды, экстраполяции координат их перемещения.. Программное обеспечение отвечает современному мировому уровню, _ и разработанный комплекс программ применяется во всей сети ДМРЛ-С Российской Федерации. Результаты этой главы подтверждают восьмое и девятое положения, выносимые на защиту.

Достоверность полученных результатов и выводов работы в целом подтверждается сравнением полученных характеристик облаков с радиолокационными измерениями и данными полевых наблюдений.

Достоверность научных положений и рекомендаций обеспечивается корректностью математических методов исследования, большими сериями численных экспериментов, широкой сравнительной базой в виде данных полевых наблюдений, радиолокационных измерений параметров облаков, данных регистрации молний, внутриоблачных разрядов.

Основные результаты диссертации опубликованы достаточно полно в научных изданиях и прошли апробацию на семинарах и конференциях различных уровней. Материалы диссертации опубликованы в 28 работах из Перечня ВАК РФ, 9 работах в изданиях SCOPUS и Web of Science, 3 монографиях, 6 свидетельствах о регистрации программ для ЭВМ.

В качестве замечаний следует отметить следующее:

1. В диссертации значительное внимание уделяется электрической коагуляции, но в описании модели не приведены аппроксимационные формулы для этого параметра, а дана лишь ссылка на литературные источники, из которых взяты эти формулы.

2. В выражении 2.9 для коэффициента турбулентной диффузии не учитывается влияние твердых и жидких частиц, имеющих в облаке, на турбулентность, а другие зависимости для определения этого коэффициента не приведены и имеются только ссылки на работы, из которых они были взяты.

3. Не указан критерий возникновения электрических разрядов в облаке. После разряда электрические характеристики облака должны

существенно измениться.

4. Не приведены оценки влияния шага сетки и размеров домена на результаты расчетов.

5. В диссертации имеются опечатки. Так в таблице 2.1 результаты тестового расчета изменения интегральной массы капель со временем скачкообразно увеличиваются на порядок (с 0,7г до 6,997г) с 980с по 990с.

6. В формулах (2,5) не указаны значения коэффициентов a_2 и a_3 .

Указанные замечания не являются существенными и не влияют на общую положительную оценку работы..

Заключение по диссертационной работе

Диссертация Шаповалова А.В. является законченной научно-квалификационной работой. Совокупность разработанных в ней теоретических результатов можно оценить как крупное научное достижение в физике облаков и активных воздействий на них. К основным результатам относятся:

- разработанная трехмерная численная модель грозового облака с учетом термодинамических, микрофизических и электрических процессов отличающаяся новизной;

- исследование трехмерной пространственной структуры объемных электрических зарядов в облаке, распределения потенциала и напряженности электрического поля;

- получение количественной оценки влияния электрической коагуляции на время образования осадков в мощных облаках;

- исследование влияния взаимодействия конвективных облаков с атмосферой, обусловленного структурой поля ветра в атмосфере, на формирование их макро- и микроструктурных характеристик.

Результаты диссертационной работы применяются для усовершенствования методов активного воздействия на облака, в противогородовых службах для анализа радиолокационных данных, в учебном процессе при изучении физики облаков и численного

моделирования.

Диссертация грамотно изложена и аккуратно оформлена, в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы и ее основные результаты.

Содержание диссертации соответствует специальности 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология.

В соответствии с вышеизложенным, диссертационная работа Шаповалова Виталия Александровича «Закономерности формирования макро- и микроструктурных характеристик грозоградовых облаков с учетом взаимодействия термогидродинамических, микрофизических и электрических процессов» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, полностью соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология.

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник отдела геофизического мониторинга и исследований Федерального государственного бюджетного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова» (ФГБУ «ГГО»)

Владимир Николаевич Морозов

Тел.:8(812)-297-86-73 ; E-mail: vn.morozov@inbox.com

ул. Карбышева, д. 7, Санкт-Петербург

194021, Россия

Подпись Морозова В.Н. заверяю

Ученый секретарь ФГБУ «ГГО»

И.Н. Шанина

