

**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

Диссертационная работа Виталия Александровича посвящена исследованию важных и недостаточно изученных к настоящему времени процессов в конвективной облачности, в частности процессов влияния электрических зарядов на гидрометеоры и роли в формировании облачности ледяных частичек.

Основным методом исследования в диссертации являются численные эксперименты с трехмерной моделью конвективного облака.

Целью работы автор объявил разработку трехмерной численной модели конвективного облака с детальным учетом термодинамических, микрофизических и электрических процессов и исследование на ее основе формирования макро- и микроструктурных характеристик, электрических параметров, эмерджентных свойств облаков.

Предварительно надо сказать что, цель, без сомнения, очень важная для дальнейшего развития понимания физических процессов в атмосфере, актуальная для возможного применения в дальнейшем в численном прогнозе погоды и моделировании изменения климата и в активном влиянии на облака.

Подтвердив важность и актуальность цели, задача оппонента, как я ее понимаю, определить степень достижения поставленной цели диссертантом. Для этого перейдем к анализу структуры и отдельных частей работы.

Диссертационная работа весьма обширна (общий объем 325 страниц (из которых 250 страниц содержательной части, списка литературы 282 наименований). Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и 50 страниц приложений.

В первой главе работы представлен обзор литературных источников по теме исследования. Рассмотрены результаты численного моделирования конвективных облаков при естественном развитии облачности и активном воздействии на них.

(1) Некоторым недостатком, большого и, полного в целом, обзора, можно считать отсутствие в нем сравнения результатов моделирования облачности с экспериментальными исследованиями. Вообще в обзоре не хватает оценочного элемента. Не ясна степень доверия к многочисленным данным наблюдения. По сути из критичного обзора должна вытекать постановка задачи диссертации.

Во второй главе работы описана трехмерная нестационарная численная модель конвективных облаков с детальным учетом термодинамических, микрофизических и электрических процессов.

Модель отличается от аналогов тем, что в ней используется детальная микрофизика с 61 градаций размеров жидких и 75 градаций твердых частиц, учитываются: накопление зарядов в облаке, потенциал и напряженность электрического поля, электрическая коагуляция облачных частиц.

Гидротермодинамический блок модели состоит из уравнений движения, описывающих влажную конвекцию в приближении Буссинеска. В уравнениях учитываются адвективный и турбулентный перенос частиц, силы плавучести, трения и барических градиентов. Микрофизический блок модели описывает процессы нуклеации, конденсации, коагуляции капель с каплями, сублимации, аккреции, замерзания капель, осаждения облачных частиц в поле силы тяжести, их перенос воздушными потоками, а также взаимодействие облачных частиц под влиянием электрического поля облака. Подобных детальных моделей в мире не много.

Система уравнений модели решалась методами расщепления по физическим процессам и покоординатного расщепления. При расчетах электризации частиц учитывается разделение зарядов связанных с замерзанием капель воды, ростом крупы и градин и взаимодействия градин с кристаллами льда и переохлажденными каплями. Результаты тестирования модели продемонстрировали удовлетворительную точность реализованных численных методов. Предложенная модель весьма сложна и в физической постановке, и в численной реализации.

(2) В тексте главы нет сравнения с количественными оценками, полученными другими авторами, нет оценок какие именно механизмы наиболее значимы в образовании облачности и какие менее и какого – либо обоснования выбора количества градаций частиц, необходимых для расчетов.

(3) Остается также не совсем ясным, каков персонально вклад диссертанта в разработку модели, и сколь он значителен.

(4) В работе нет никаких количественных характеристик реализованной модели – примерного суммарного количества операторов программы, языка программирования, времени счета на вычислителе определенной конфигурации, требуемые ресурсы памяти и т.д..

Для анализа результатов экспериментов использовалось специализированное программное обеспечение трехмерная визуализация расчетных данных, адаптированное для изучения характеристик облаков. Судя по тексту, использование этого программного обеспечения было разработано автором и обеспечило значительное продвижение в понимании и анализе численных экспериментов. Как человек, связанный с численным моделированием много лет, считаю, что хорошая визуализация результатов играет большую роль в их понимании. Анализ результатов подобной сложной модели по трудоемкости и сложности сравним с разработкой самой модели.

(5) К сожалению, автор не приводит свойств разработанного программного продукта, степени его универсальности и простоты обращения, а приводит лишь замечательные яркие примеры его использования.

Третья глава диссертации посвящена описанию результатов исследования динамических и электрических процессов в конвективных облаках. По сути это основная глава с анализом результатов численных экспериментов.

Автору впервые удалось изучить закономерности формирования микроструктурных и электрических характеристик конвективных облаков при естественном их развитии с учетом взаимодействия большого количества физических процессов между собой.

В работе показано, что важную роль в образовании осадков в мощных конвективных облаках играет взаимодействие термодинамических, микрофизических и электрических процессов. Установлено что, микроструктурные и электрические параметры активно влияют друг на друга на стадии роста облака.

(6) Автор утверждает, что проверка реалистичности модели проводилась на основе сравнения с данными радиолокационных измерений и грозоразрядной деятельности, а также измерения электрических полей.

Этот, на мой взгляд, важнейший и весьма сложный этап в моделировании физического объекта, убеждающий в дальнейшем верить в реалистичность модели, к сожалению, не достаточно проиллюстрирован в работе.

Тем не менее, представляют явный теоретический и, практический интерес исследование автором влияния электрических эффектов, влияющих на осадкообразование. Эти результаты оригинальны и значимы.

В четвертой главе представлены результаты многочисленных численных экспериментов, проведенных для выяснения влияния активного воздействия на градовую опасность облаков.

Показано, что в экспериментах варьировались параметры источника искусственных ледяных кристаллов, засеваемых в облака, их локализации и интенсивности. По результатам численных экспериментов определено изменение степени опасности образования града в облаках от таких параметров, как: место внесения искусственных кристаллов, их концентрации, геометрия источника, стадия развития облака.

В качестве некоторого недостатка главы также можно указать на отсутствие статистического количественного обобщения многочисленных экспериментов.

В пятой главе изложено разработанное автором диссертации программно-математическое обеспечение анализа и отображения информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С и прикладное ПО для объединения радиолокационной, грозопеленгационной и спутниковой информации. Программное обеспечение отвечает современному мировому уровню, оно позволяет получать полный перечень радиолокационных, доплеровских и поляризационных продуктов. В программу отображения, также, как и в зарубежных системах, встроено трехмерное представление радиолокационной информации. Комплекс программ «ГИМЕТ-2010» применяется на всей сети ДМРЛ-С Российской Федерации.

(7) Хотя этому программному обеспечению посвящена глава диссертации и она также сопровождается большим количеством хороших иллюстраций, в ней не содержится информации с характеристиками разработанных пакетов, как-то – универсальность, общедоступность, язык программирования, быстродействия и т.д.

И вообще, можно высказать общее замечание – несмотря на большой объем работы и значительность научных результатов представленных в ней, весьма мало количественных характеристик как исследуемых объектов – интенсивной облачности, так и программных продуктов.

В Заключении автором сформулированы основные научные результаты исследования.

**Научная новизна исследования**

Диссертант участвовал в разработке уникальной трехмерной численной модели конвективного облака с учетом термодинамических, микрофизических и электрических процессов. В модели учитываются: накопление зарядов в облаке, напряженность электрического поля, электрическая коагуляция облачных частиц. Им усовершенствована методика формирования трехмерных исходных данных при инициализации модели за счет учета прогностических полей.

На основе разработанной модели с детальным описанием физических процессов впервые исследовано формирование макро- и микроструктурных, и электрических параметров. Определена динамика изменения характеристик грозоградовых облаков на стадии роста и максимального развития. Проведены численные эксперименты для получения электрических характеристик мощных конвективных облаков в различные моменты времени развития облачности и приведены примеры их связи с микроструктурными параметрами. В экспериментах анализировалась пространственная структура объемных электрических зарядов в облаке, трехмерное распределение напряженности электрического поля, рассчитывалась количественная оценка влияния электрической коагуляции на скорость образования осадков в мощных облаках.

С применением предложенной модели исследовалось изменение микроструктурных параметров конвективных облаков при засеивании ледяным реагентом, что имеет большое практическое значение в искусственном влиянии на борьбу с градом.

Разработано программно-математическое обеспечение комплексной обработки радиолокационной и грозопеленгационной информации для идентификации опасных явлений погоды.

Результаты численных экспериментов на основе разработанной модели применимы для анализа эффективности методов активного воздействия на градовые облака.

Из общих замечаний можно также сказать:

1. В диссертации не приведено достаточных априорных аргументов в пользу разработки модели в именно данной постановке, с данным количеством рассмотренных гидрометеоров.

2. Автором в тексте ничего не сказано о влиянии граничных условий на результаты расчетов и определении оптимальных размеров счетной области.

3. В диссертации рассмотрены не все механизмы электризации, включенные автором в модель.

4. Результаты моделирования активных воздействий на облака не сопоставлены с результатами авторов других моделей.

5. Пояснения к нескольким рисункам недостаточно полные.

6. В работе имеется незначительное число неточностей редакционного характера.

Проанализировав всю работу можно констатировать, что автор в целом вполне достиг поставленной цели работы.

Диссертация написана ясным языком хорошо понимающего специалиста.

Перечисленные выше замечания, которые всегда возможны в большой и серьезной работе, не снижают научную и практическую ценность и высокий научный уровень работы. Работа представляет собой законченное исследование.

Автореферат диссертации отражает содержание диссертации.

Основные результаты работы опубликованы в 114 работах, в том числе 28 - в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 9 работ в изданиях SCOPUS и Web of Science, 3 монографии, 6 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Рассмотренная работа без сомнения соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико – математических наук в соответствии с пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор, Шаповалов Виталий Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

**Официальный оппонент,**

доктор физико-математических наук

по специальности 25.00.30 (Метеорология, климатология, агрометеорология),

ведущий научный сотрудник ФГБУ «Гидрометцентр России»

16.12.2019

Рубинштейн Константин Григорьевич

123242, Москва, Большой Предтеченский пер. д. 9–13

Тел.раб +7 499 295 22 95 e-mail: k.g.rubin@gmail.com

Я, Рубинштейн Константин Григорьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись К.Г. Рубинштейна заверяю

Ученый секретарь ФГБУ «Гидрометцентр России»

кандидат физ.-мат наук

Шестакова Н.А.

