

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.

Численное моделирование облачных процессов с целью установления основных закономерностей образования и развития грозоградовых облаков, является одним из основных методов исследований в физике облаков и активных воздействий на них. Диссертационная работа Шаповалова В.А. посвящена исследованию на основе трехмерной нестационарной численной модели процессов формирования термодинамических, микроструктурных и электрических параметров мощных конвективных облаков с учетом взаимодействия различных факторов. С использованием трехмерной модели проведено моделирование активных воздействий кристаллизующим реагентом на конвективные облака с целью искусственного увеличения осадков или уменьшения градоопасности облаков. По результатам анализа результатов численных экспериментов разработаны рекомендации по совершенствованию технологий воздействия для получения максимального эффекта.

Актуальность темы представленной диссертации обусловлена необходимостью решения проблемы разработки научно-обоснованных методов защиты от опасных явлений погоды, одним из которых являются градобития, которые наносят большой ущерб народному хозяйству. Другой актуальной проблемой, требующей решения, является задача разработки методов управления микроструктурными характеристиками облаков при воздействии на них реагентами с целью искусственного увеличения осадков в регионах, испытывающих дефицит пресной воды.

Диссертационная работа Шаповалова В.А. состоит из введения, пяти

глав, заключения, списка литературы из 282 наименований и приложений, содержащих документы о внедрении результатов диссертации. Во введении обосновывается актуальность проводимых исследований, формулируются цели и задачи работы, отражается новизна полученных результатов и их научная и практическая значимость. В заключении приводятся основные результаты диссертации.

В первой главе представлен обзор современного состояния математического моделирования облаков в моделях с параметризованной и детальной микрофизикой. Рассмотрены методические вопросы численного моделирования конвективных облаков, в частности, при учете электрических процессов. По результатам анализа состояния проблемы сформулированы задачи диссертационного исследования.

Во второй главе представлено описание разработанной трехмерной нестационарной численной модели конвективного облака с достаточно подробным учетом термодинамических, микрофизических и электрических процессов. В модели используется детальная микрофизика с несколькими десятками градаций по размерам жидких и твердых частиц. Детально учитываются процессы электризации облачных частиц на основе полученных по существующим теоретическим и экспериментальным данным аппроксимационным формулам для коэффициентов электрической коагуляции и разделения зарядов, связанных с замерзанием капель воды, ростом крупы и градин, и взаимодействием жидких и твердых облачных частиц.

Результаты тестирования и валидации модели продемонстрировали удовлетворительную точность реализованных численных методов и алгоритмов расчетов.

Для анализа результатов численного моделирования автором разработано оригинальное программное обеспечение трехмерной визуализации расчетных данных, обеспечивающее детальный просмотр

результатов моделирования. В диссертации широко использованы разработанные средства отображения трехмерных данных при их анализе и физической интерпретации.

В третьей главе на основе результатов численных экспериментов автором получен ряд закономерностей формирования микроструктурных и электрических характеристик конвективных облаков, являющихся следствием взаимодействия термодинамических, микрофизических и электрических процессов в облаке. Это нелинейное взаимодействие имеет весьма сложный характер и играет важную роль в формировании микроструктуры облаков. Динамические процессы вызывают деформацию полей термодинамических параметров в облаке, которые, в свою очередь, определяют микрофизические процессы и рост частиц осадков. Электрические параметры влияют на развитие осадков. В численных экспериментах получено, что в облаке наблюдается положительная обратная связь между ростом массы ледяных частиц и объемным электрическим зарядом.

Численные эксперименты, выполненные с использованием данных аэрологического зондирования, показали, что характеристики модельного облака достаточно чувствительны к вертикальным профилям температуры и влажности в атмосфере, а также - к трехмерной структуре горизонтального ветра. Проведено исследование влияния структуры ветра в атмосфере на формирование макро- и микроструктурных характеристик облаков. Сравнение характеристик модельного облака с расчетными данными по другим моделям и данными радиолокационных наблюдений показало качественное и количественное согласие результатов.

Четвертая глава посвящена моделированию активных воздействий на конвективные облака путем введения льдообразующих реагентов. Проведено исследование изменений микроструктурных параметров конвективных облаков при воздействии льдообразующим реагентом и

сделаны оценки эффективности воздействия на конвективные облака льдообразующим реагентом с целью искусственного увеличения осадков. По результатам численного моделирования сформулированы предложения по оптимизации технологии засева конвективных облаков льдообразующими реагентами для получения максимального эффекта воздействия. Следует отметить, однако, что автором при численных расчетах не учтена зависимость выхода активных частиц льдообразующего реагента от температуры, в связи с чем некоторые предложенные автором рекомендации по оптимизации технологии воздействия льдообразующими реагентами требуют корректировки.

В четвертой главе также представлены результаты численного моделирования воздействия льдообразующим реагентом на мощные грозоградовые облака с целью уменьшения их градоопасности. Получено, что внесением в облако мелких искусственных кристаллов можно регулировать число образующихся крупных градин. По результатам численных расчетов проанализировано изменение градоопасности облака в зависимости от места внесения искусственных кристаллов, их концентрации, геометрии зоны засева, стадии развития облака. В отдельных численных экспериментах показаны оптимальные условия проведения воздействия, приводящих к лучшим с точки зрения предотвращения образования крупных градин результатам.

В пятой главе представлено разработанное автором диссертации программно-математическое обеспечение анализа и отображения информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С и прикладное ПО для объединения радиолокационной, грозопеленгационной и метеорологической 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 России.

В диссертации Шаповалова В.А. получены следующие новые научные результаты и выводы:

1. Разработана трехмерная нестационарная численная модель конвективного облака с детальным учетом термогидродинамических, микрофизических и электрических процессов. Модель отличается от аналогов тем, что в ней используется детальная микрофизика с несколькими десятками градаций размеров жидких и твердых облачных частиц, а также учитывается потенциал и напряженность электрического поля, накопление зарядов в облаке, электрическая коагуляция облачных частиц. Впервые при инициализации модели применено трехмерное начальное распределение полей термодинамических параметров в домене, построенное по данным глобальной модели GFS.

2. Впервые исследованы электрические характеристики мощных конвективных облаков в процессе их эволюции и их взаимосвязь с микроструктурными параметрами. Определены пространственная структура объемных электрических зарядов в облаке, трехмерное распределение напряженности электрического поля.

3. Впервые получены количественные оценки влияния электрической коагуляции на скорость образования осадков в мощных облаках. Теоретически подтверждена концепция о существовании положительной обратной связи между ростом частиц осадков в облаке и увеличением напряженности электростатического поля. По результатам моделирования получено, что на стадии максимального развития конвективного облака за счет электрической коагуляции происходит наиболее интенсивный рост жидких и твердых осадков.

4. Проведено исследование изменений микроструктурных параметров конвективных облаков при воздействии льдообразующим реагентом.

Проведены оценки эффективности воздействия на конвективные облака льдообразующим реагентом с целью искусственного увеличения осадков или уменьшения градоопасности облаков. По результатам численного моделирования сформулированы предложения по оптимизации технологии засева конвективных облаков льдообразующими реагентами для получения максимального эффекта воздействия.

5. Впервые в России разработано адаптированное для исследования параметров конвективного облака программно-математическое обеспечение трехмерной визуализации данных численного моделирования и радиолокационной информации метеорологических радиолокаторов. Разработано также программное обеспечение комплексной обработки радиолокационной, грозопеленгационной и метеорологической информации для идентификации опасных явлений погоды.

Научная и практическая значимость полученных автором диссертации результатов заключается в том, что разработанная трехмерная численная модель конвективного облака с детальным учетом термодинамических, микрофизических и электрических процессов может применяться для исследований эволюции облаков при естественном развитии и активных воздействиях для различных атмосферных условий в различных регионах.

Полученные в работе результаты численного моделирования могут быть использованы для уточнения существующих представлений о формировании и развитии грозоградовых облаков, а также - о процессах осадкообразования в них. Модель конвективного облака может быть использована для оценки и прогноза эффективности тех или иных методов воздействия на конвективные облака, что способствует повышению эффективности планирования и выполнения как исследовательских, так и оперативных работ по активным воздействиям. Результаты разработки программного обеспечения анализа и отображения данных ДМРЛ-С могут быть использованы для усовершенствования методов контроля опасных явлений погоды.

Результаты диссертации могут быть использованы в работах по активным воздействиям на облака с целью уменьшения их градоопасности или искусственного регулирования осадков, проводимых в учреждениях Росгидромета, министерств сельского и лесного хозяйства РФ.

Замечания:

1. В разработанной автором модели учитывается ограниченное число механизмов кристаллизации облачных частиц и не учитывается влияние других возможных механизмов (например – механизма Халлетта-Моссона). Как оценивалась достаточность выбранных механизмов для построения модели? Такое же замечание и по механизмам электризации частиц в облаке.
2. В Главе 3 проведено сравнение результатов моделирования с данными наблюдений, однако приводится недостаточно сведений об условиях, при которых получены данные (радиолокационные, грозопеленгационные).
3. В диссертации автор проводит исследование воздействия на облако для получения дополнительных осадков льдообразующими реагентами. Следовало бы указать преимущества и недостатки этого метода воздействия по сравнению с другими методами (например - с использованием гигроскопических реагентов).
4. В Главе 4 (с. 181) перечисляются возможные механизмы нуклеации на частицах AgI , но не указано, какой из этих механизмов реализован при моделировании воздействия льдообразующим реагентом.
5. В Главе 4 (с. 199) приводятся критерии пригодности слоистых облаков для воздействия льдообразующими реагентами. Следует отметить, что в диссертации результаты исследований для слоистых облаков не приведены, поэтому предложенные критерии нельзя признать обоснованными.
6. В Таблицах 4.1-4.8, где приводятся результаты расчетов воздействия на различные конвективные облака, не указан общий расход реагента. Не приводятся также геометрические размеры зон, куда вводится реагент, что не позволяет оценить расход реагента.

7. Рекомендации по расходу льдообразующего реагента, приведенные в Таблице 4.9, недостаточно обоснованы. Во-первых, в связи с неучетом температурной зависимости выхода активных частиц льдообразующего реагента расход патронов ПВ-26 может оказаться значительно больше. Кроме того, какие конвективные облака мощностью 1-2 км имеются в виду, чтобы из них можно было получить осадки?

8. В диссертации и автореферате в ряде рисунков не указаны градации изолиний и числа по осям координат.

Приведенные замечания не затрагивают основных выводов диссертационной работы и не снижают общей положительной оценки диссертации, в которой решена важная научная и народно-хозяйственная задача развития технологий активных методов воздействия на облака с целью регулирования процессов осадкообразования и уменьшения их gradoопасности. Основные положения и выводы диссертации достаточно аргументированы и хорошо обоснованы. Полученные научные результаты достоверны и доведены до практического использования. Материалы диссертации опубликованы в 28 работах из Перечня ВАК РФ, 9 работ в изданиях SCOPUS и Web of Science, 3 монографиях. Содержание диссертационной работы и ее основные результаты достаточно полно отражены в автореферате.

Таким образом, диссертация Шаповалова В.А. «Закономерности формирования макро- и микроструктурных характеристик грозоградовых облаков с учетом взаимодействия термогидродинамических, микрофизических и электрических процессов», является законченным трудом, в котором на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно

квалифицировать как новое крупное достижение в развитии перспективного направления в области физики облаков и модификации погоды.

Диссертационная работа Шаловалова В. А. отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», принятых Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология.

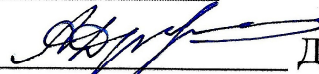
Дрофа Александр Семенович,

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,
главный научный сотрудник

Института Экспериментальной Метеорологии ФГБУ «НПО «Тайфун».

Калужская обл., г. Обнинск, ул. Победы, 4.

Тел.: +79108631405; E-mail: adrofa@typhoon.obninsk.ru.


Дрофа А. С.
27.12.2019.

Подпись А. С. Дрофы заверяю

Начальник отдела кадров ФГБУ «НПО «Тайфун»

Е. М. Вишенкова



27.12.2019