

Отзыв официального оппонента,

кандидата физико-математических наук Фадеева Ростислава Юрьевича

на диссертацию Дементьевой Светланы Олеговны на тему

«Процессы коллективной зарядки в нижней атмосфере и их описание в численных мезомасштабных моделях»,

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертация Дементьевой Светланы Олеговны посвящена разработке и исследованию методов для описания процессов генерации и разделения заряда в мезомасштабных конвективных системах. Электродинамика нижней атмосферы сейчас не имеет параметрического (упрощенного) описания в рамках современных моделях оперативного прогноза погоды. В то же время точный прогноз грозы и молниевой активности, в частности, представляет существенный интерес как с фундаментальной так и с прикладной точки зрения, поскольку подобные процессы могут наносить значительный экономический ущерб. Для оценки молниевой активности в рамках численных гидродинамических моделей атмосферы применяются, главным образом, диагностические алгоритмы, основанные на косвенных неэлектрических индексах. Точность таких методов сравнительно невысока, поскольку помимо термодинамических и микрофизических характеристик конвективных образований в них не учитываются нелокальные электрические взаимодействия заряженных частиц. К настоящему моменту в мире разработано несколько параметризаций, позволяющих проводить исследование и прогноз электрических характеристик нижней атмосферы. Но ни одна из них не стала частью кода модели, применяемой для оперативного прогноза погоды. Поэтому исследования, направленные на теоретический анализ процессов зарядки конвективных облаков, учитывающих одновременно и крупномасштабные характеристики атмосферы и подсеточные (микрофизические, в том числе), с возможностью применения на практике представляется важной и **актуальной** задачей.

В диссертационной работе С. О. Дементьевой **впервые** исследована роль турбулентных пульсаций скорости на процесс зарядки конвективного облака. В работе предложены и обоснованы новые методы расчета электрических параметров атмосферы, использующие данные численного моделирования с высоким пространственным разрешением. Выводы работы подкреплены численными экспериментами, в которых результаты моделирования сопоставляются с данными наблюдений метеорологических

радиолокаторов, данными сети флюксометров, развернутой в Нижегородской области, и грозопеленгационной сети WWLLN. Разработанные алгоритмы могут найти применение в региональных моделях прогноза погоды и поэтому представляют практическую ценность.

Диссертация включает введение, 4 главы, заключение и список литературы. Общий объем диссертации составляет 145 страниц, включая 52 рисунка, 1 таблицу и список литературы из 176 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее основные цели и задачи, отмечены элементы новизны, теоретической и практической значимости. Перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится обзор внутренней структуры и основных механизмов генерации и накопления электрического заряда в конвективном облаке. На примере одномерной по вертикали упрощенной модели облака рассматривается процесс роста заряда грозового облака для индукционного, безындукционного и комбинированного механизмов зарядки.

Во второй главе проводится оценка влияния вызванных турбулентными процессами пульсаций скорости на процесс зарядки конвективного облака. Применяется двухмасштабный подход, который позволяет сделать вывод о том, что в случае индукционного и безындукционного механизмов зарядки турбулентные пульсации скорости усиливают ток зарядки.

В третьей главе на примере модели WRF обсуждается методология численного прогноза погоды; особое внимание уделяется описанию микрофизических процессов, играющих важную роль в процессах электризации конвективных облаков. Приводится описание разработанного С.О. Дементьевой метода диагностического восстановления пространственного распределения зарядов по распределению массовых долей гидрометеоров.

В четвертой главе обсуждаются результаты применения разработанного диагностического метода расчета электрических параметров грозового облака для определения молниевой активности. Источником информации о характеристиках атмосферы и содержании в ней гидрометеоров применялась региональная гидродинамическая модель WRF-ARW. Исследовались случаи интенсивных гроз, произошедших в 2013 г., в 2015 (два случая) и в 2016 гг. на территории Нижегородской области. Результаты моделирования сравнивались с доступными данными измерений (метеорологический радиолокатор, грозопеленгационная сеть WWLLN и др.)

В заключении приведены основные выводы и результаты работы.

Представленное в диссертации исследование выполнено на высоком научном уровне, оформлено в соответствии с требованиями ВАК и носит целостный, **завершенный характер**. Автором проведено тщательное исследование ключевых механизмов генерации и разделения заряда в нижней атмосфере, сделан важный вывод о необходимости учета турбулентных пульсаций скорости в параметризациях, описывающих электризацию грозовых облаков. Предложенный в диссертации С. О. Дементьевой метод расчета электрических параметров грозовых облаков с использованием данных моделирования и основанный на нем алгоритм прогноза молниевой активности является **новым** и представляет существенный интерес для специалистов в области моделирования динамики атмосферы и прогноза погоды.

Разработанные автором методы проверены на большом числе экспериментов, результаты которых согласуются с данными наблюдений. В работе предложен метод повышения вычислительной эффективности разработанного алгоритма, суть которого заключается в отборе грозовых событий с привлечением данных о радиолокационной отражаемости. Основные утверждения автора, в основном, подтверждаются библиографическими ссылками. Все это дает основание считать полученные результаты достаточно **обоснованными и достоверными**.

Разработанный в рамках диссертационной работы алгоритм представляют **практическую ценность** и, потенциально, может быть использован при решении специальных задач.

Основные результаты диссертации **опубликованы** в ведущих научных изданиях по соответствующей тематике и **доложены** на российских и международных конференциях в России (12 докладов), Чехии (1 доклад), Австрии (1 доклад) и Японии (1 доклад). Автореферат и опубликованные автором работы правильно **отражают** основное содержание диссертации. 6 публикаций автора сделаны в журналах из перечня ВАК и включают основные результаты диссертационной работы.

Содержание диссертации **соответствует паспорту** специальности 01.04.03, в частности, в следующих пунктах:

5. Разработка научных основ и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач. Создание систем дистанционного мониторинга гео-, гидросферы, ионосферы, магнитосферы и атмосферы. Радиоастрономические исследования ближнего и дальнего космического пространства. Разработка теории численных методов, анализ и обоснование алгоритмов, вопросы повышения их эффективности.

К числу **недостатков** работы Дементьевой Светланы Олеговны можно отнести следующее:

1. Технология прогноза молниевой активности на основе разработанного в диссертации алгоритма проверяется на серии численных экспериментов с привлечением свободно распространяемого программного кода региональной модели WRF-ARW. В диссертации подробно описана принципиальная структура модели WRF-ARW и реализованные в ней параметризации микрофизики. В то же время в диссертации отсутствует информация о конфигурации применяемой модели: шаг по времени, структура и число узлов сетки по вертикали. Остается не ясным каким образом и с привлечением каких данных происходила инициализация применяемых моделей, осуществлялась ли коррекция прогностических величин в процессе счета и как вложенные модели сшивались друг с другом на внутренней границе.
2. Ключевой метрикой процедуры проверки правильности численного моделирования грозовых событий в диссертации является визуальное сопоставление радиолокационной отражаемости с данными наблюдений метеорологических радиолокаторов на высоте 600 м. Однако, используемые в сравнении данные о радиолокационной отражаемости свидетельствуют, главным образом, о факте дождя в жидкой фазе на этой высоте. В то время как процессы электризации облака и, в частности, разделения заряда происходят существенно выше и предполагают присутствие гидрометеоров в твердой фазе. В рамках исследования следовало бы провести сопоставление вертикального распределения гидрометеоров (пусть и в жидкой фазе) со всеми доступными данными метеорологических радиолокаторов МРЛ и ДМРЛ-С.
3. Для качественной оценки точности описания динамики атмосферы численной мезомасштабной моделью WRF-ARW можно было бы воспользоваться методом оптического потока для восстановления скорости грозового облака (в ядрах отражаемости, например) и таким образом качественно оценить точность воспроизведения скорости горизонтального ветра.
4. Одним из ключевых параметров представленного в диссертации алгоритма косвенного отбора грозовых событий является пороговое значение радиолокационной отражаемости, превышение которого в течение заданного времени и на характерной площади свидетельствует о грозовом явлении. В диссертационной работе отсутствует указание высоты, на которой задается это

пороговое значение: нулевая изотерма, 600 м. или максимальное значение радиолокационной отражаемости во всем расчетном столбе.

В разделе 4.4.2 ("апробация .. алгоритма косвенного отбора грозовых событий") указывается, что значение порога отсечения 50 dBz грозового события "успешно применялось для сортировки конвективных сезонов на территории Нижегородской области на грозовые и не грозовые дни". Однако в диссертации отсутствуют ссылки на результаты исследований, подтверждающие данное утверждение. Пороговое значение в 50 и 55 dBz является достаточно большим и гарантированно отсекает грозовые события от не грозовых в летний период. В то же время в переходные сезоны, когда облака, в основном, состоят из смешанной фазы, грозы могут случаться при значении радиолокационной отражаемости меньше 50 dBz. Поэтому значение пороговой величины 50 dBz требует аргументированного обоснования с привлечением достаточного большой выборки, включающей как грозовые события, так и сильные ливни без гроз, где значение радиолокационной отражаемости может быть сопоставимым, но отличаться по вертикальному местоположению. В противном случае, алгоритм ограничен в применимости летним сезоном.

Обсуждаемый в диссертации метод расчета электрических параметров атмосферы является диагностическим, а получаемое распределение заряда не влияет ни на крупномасштабную динамику ни на ход подсеточных процессов модели WRF-ARW. Остается не ясным, почему изменение порогового значения в алгоритме косвенного отбора грозовых событий с 50 до 55 dBz, о котором говорится в разделе 4.4.2, должно оказывать влияние на электрические характеристики атмосферы, рассчитываемые по представленному в разделе 3.3 алгоритму (независимо для каждого момента времени решается трехмерное уравнение Пуассона).

5. Прочие замечания:

- стр. 37, 2 предложение раздела 2.1: термин "возмущения химии атмосферы" не вполне корректен. И далее: что такое "высокий уровень турбулентности"? Почему не используются общепринятые безразмерные характеристики потока?
- стр. 66, 1 предложение раздела 3.1: фраза "долгосрочный прогноз .. молниевой активности" - не корректен, поскольку заблаговременность долгосрочного прогноза составляет от 30 суток до двух лет. По всей видимости речь идет о краткосрочном и/или сверхкраткосрочном прогнозе молниевой активности.
- стр. 75-76 в формулах (3.3) и (3.4) не указаны пределы интегрирования.

- отсутствуют выводы по главам.
- для характеристики отражательной способности, по ситуации, используется либо dBz (стр 78, например), либо dBZ (на картинках, стр. 102-107).
- стр 76, 1 предложение после формулы 3.4: остается не ясно в ходе каких работ, каким образом и на основе каких соображений "были введены коэффициенты, отражающие интенсивность перемешивания частиц".
- стр 112, 2 предложение в разделе 4.4.2: ссылка должна быть на раздел 3.4 (вместо 3.3), в котором приводится алгоритм отбора грозовых событий.

Тем не менее, указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов, а автору диссертационной работы рекомендуется продолжить исследования по проверке разработанных алгоритмов с прицелом на практическое внедрение.

Заключение

Диссертационная работа Дементьевой Светланы Олеговны выполнена на высоком научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые результаты исследований влияния турбулентности на процессы разделения и генерации заряда в грозовых облаках и новые тщательно проверенные алгоритмы параметрического описания электрических процессов в нижней атмосфере, что соответствует требованиям п. 9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней" утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - "Радиофизика", а ее автор заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук.

30 августа 2019 г.

Старший научный сотрудник ИВМ РАН,
кандидат физико-математических наук

Фадеев Ростислав Юрьевич

Почтовый адрес: 119333, г. Москва, ул. Губкина, 8, ИВМ РАН.

Телефон: 8(495) 984-81-20 (3513)

Адрес электронной почты: rost.fadeev@gmail.com, fadeev@m.inm.ras.ru

Организация – место работы: Федеральное государственное учреждение науки Институт вычислительной математики Российской академии наук (ИВМ РАН)

Должность: старший научный сотрудник

Подпись и сведения заверяю.
Учёный секретарь Учёного совета ИВМ РАН,
доктор физико-математических наук



Шутяев Виктор Петрович