

## УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта Российской академии наук д. ф.-м. н., профессор, член-корреспондент РАН



Тихоцкий С.А.

«12» августа 2019 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Дементьевой Светланы Олеговны **«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 - радиоп физика

### **Актуальность исследований. Объект и предмет исследований.**

Диссертационная работа С.О. Дементьевой посвящена теоретическому исследованию и численному моделированию процессов коллективной зарядки в многокомпонентных слабопроводящих турбулентных средах в приложении к процессам электризации в нижней атмосфере. Теоретическое описание и развитие методов моделирования процессов электризации в атмосферных многокомпонентных системах, включая грозовые облака, снежные и пылевые бури, представляет собой интересную и важную задачу как с позиций фундаментальной физики сложных неравновесных систем с самоорганизацией, так и для решения ряда прикладных задач, среди которых можно выделить улучшение качества прогноза погоды и некоторых опасных природных явлений. Разработка параметризаций электрических процессов для прогноза мезомасштабных атмосферных явлений с использованием

современных численных моделей требует оптимального соотношения полноты теоретического описания и возможностей высокоскоростных вычислений. Теоретические исследования и численное моделирование электрических процессов в нижней атмосфере, рассматривающие, в частности, влияние турбулентности на электризацию грозовых облаков, незаменимы для выявления физических механизмов, играющих первостепенную роль в генерации электрических полей возмущенной атмосферы и получения количественных соотношений, если проведение натуральных наблюдений и экспериментальных исследований затратно и трудноосуществимо. В связи с развитием глобальных сетей грозопеленгации, а также появлением в России пунктов мониторинга, оснащаемых современным оборудованием для наблюдений грозовых явлений, возникает необходимость в физически корректной интерпретации результатов таких наблюдений и разработке алгоритмов оперативных краткосрочных прогнозов молниевой активности на территориях, где такая активность может представлять опасность. Таким образом, актуальность выполненного в рамках диссертации исследования не вызывает сомнений.

### **Цель и задачи исследований.**

Цель диссертации заключается в теоретическом исследовании процессов коллективной зарядки гидрометеоров и аэрозольных частиц в нижней атмосфере и численном моделировании электрических процессов в мезомасштабных моделях прогноза состояния атмосферы. Цель и задачи исследования соответствуют современным тенденциям в этой области, согласованы и последовательны. Полнота достижения цели обеспечивается посредством теоретического анализа различных механизмов электризации, разработки параметризаций электрических процессов в атмосфере, численного моделирования тестовых и реальных грозовых событий, апробацией и калибровкой алгоритма косвенного отбора грозовых событий, сравнением результатов моделирования с данными глобальной сети WWLLN и результатами



расчетов индекса молниевой активности LPI. Достоверность полученных результатов подтверждена согласием результатов моделирования радиолокационной отражаемости с данными наблюдений метеорологического радара, расположенного в г. Нижний Новгород, а также с результатами наблюдений распределения зарядов и электрических полей в грозовых облаках, полученными другими исследовательскими группами. Ограничения на применимость результатов, полученных в диссертации, определяются приближениями и упрощениями, допущенными в постановке задачи, при её решении, а также при использовании численной прогнозной модели WRF. Основные приближения связаны с неизбежно упрощаемой кинетикой микрофизических процессов в облаках, а также упрощениями представления морфологии и динамики частиц, участвующих в процессах электризации, довольно ограниченным описанием турбулентности, горизонтальной однородностью рассматриваемой области, недостаточным для воспроизведения быстрого развития как отдельной грозовой ячейки, так и совместной эволюции нескольких связанных ячеек пространственно-временным разрешением численной модели WRF. Тем не менее, с учётом указанных ограничений результаты могут быть применены для интеграции с WRF в части параметризаций электрических процессов в грозовых облаках и для прогноза преимущественной локализации молниевых разрядов.

### **Значимость полученных результатов.**

Научная значимость результатов диссертации состоит в построении модели коллективной зарядки многокомпонентной турбулентной среды и интеграции полученных на её основе параметризаций электрических процессов в грозовых облаках с широко распространённой и интенсивно используемой прогнозной мезомасштабной моделью WRF. Перспективы применения разработанных методов очевидны, поскольку учёт внутриоблачных процессов разделения зарядов позволяет существенно

повысить качество прогнозирования грозовых явлений и молниевой активности, предоставляя при этом новые возможности для интерпретации данных сетей грозопеленгации. Разработка алгоритма косвенного отбора грозовых событий совместно с алгоритмом прогноза молниевой активности представляют собой новый шаг в направлении автоматизированного контроля опасных метеорологических явлений. В диссертации получены важные количественные оценки влияния турбулентности на процессы электризации грозовых облаков, снежных облаков и облаков пыли. Моделирование грозовых событий с использованием разработанных параметризаций электрических процессов позволило детально исследовать особенности эволюции облаков с развитой электрической структурой в зависимости от интенсивности турбулентности. К значимым результатам можно отнести создание и оптимизацию автором программного обеспечения для численных расчётов.

Научная новизна представленных в диссертации результатов заключается в том, что впервые на уровне численной модели проведено исследование влияния турбулентности на процессы коллективной электрической зарядки и выявлены условия, при которых наблюдается рост крупномасштабного электрического поля. На основе уравнений, описывающих эволюцию электрического поля и заряда в конвективных облаках, определены механизмы электризации, учёт которых необходим при численном моделировании нарастания напряженности электрического поля в облаках до пробойного значения. Предложен новый для задач оперативного мониторинга метод прогноза молниевой активности, основанный на прямом расчёте электрических параметров атмосферы. Разработаны параметризации электрических процессов в грозовых облаках, совместимые с численными мезомасштабными моделями, и проведена их интеграция с численной мезомасштабной моделью WRF, что позволяет применять развитые методы расчёта электрических параметров для прогноза молниевой активности.



Работа С.О. Дементьевой дает возможность применения численных прогнозных моделей для решения задач атмосферного электричества, а также имеет важное прикладное значение для развития системы предупреждения об опасных грозových явлениях.

К недостаткам работы можно отнести следующее:

- 1) В постановке задачи характерные пространственно-временные масштабы не оговорены явно, что не позволяет оценить точность сделанных приближений.
- 2) Оценка плотности тока турбулентной диффузии в (2.1) не содержит числовых значений представленных характерных величин, не оценивается их вариабельность в облаках.
- 3) Вывод формул (2.10) и (2.11) неочевиден, не приведено явное выражение и аргументы амплитуды коррелятора вертикальной турбулентной скорости  $G_V$ , выражения для коэффициентов  $A_V$  и  $A$  и значение константы  $C^2$  не комментируются. При усреднении в формуле (2.15) применяется процедура, которая требует обоснования и анализа условий применимости.
- 4) В некоторых формулах встречаются опечатки и неточности, векторная запись уравнений зачастую игнорируется без оговорок о выделении направления для проецирования. Например, записанное на стр. 27 уравнение Максвелла не содержит множителя, согласованного с выбранной системой единиц, в (1.7) нет векторных обозначений и пропущен индекс у электрической постоянной, в (2.7) и (3.7) отсутствуют символы векторов у векторных величин
- 5) Приведенное на рис. 3.2 (б) пространственное распределение вертикальной скорости ветра, полученное с помощью модели WRF некорректно, поскольку на указанном масштабе восходящие конвективные потоки с необходимостью компенсируются нисходящими.

Однако указанные недостатки не снижают общей положительной оценки значимых результатов диссертационной работы.

## **Выводы.**

Ведущая организация считает, что диссертационная работа С.О. Дементьевой выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение задачи коллективной зарядки гидрометеоров и аэрозольных частиц в нижней атмосфере, имеющей существенное практическое значение для прогноза мезомасштабных атмосферных явлений.

Полученные диссертантом результаты опубликованы в ведущих рецензируемых российских и международных научных журналах из списка ВАК, индексируемых в международных системах цитирования SCOPUS и WoS (6 публикаций), а также неоднократно докладывались на международных и всероссийских конференциях, семинарах и школах молодых учёных. Личный вклад диссертанта в работах, написанных в соавторстве, описан подробно и не вызывает сомнений. Автореферат полно и точно передаёт основное содержание диссертационной работы.

Диссертация соответствует критериям, установленным в п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842) для ученой степени кандидата наук, а её автор С.О. Дементьева заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиоп физика.

Диссертационная работа докладывалась и обсуждалась на совместном расширенном заседании лаборатории геофизического мониторинга и учёного совета Геофизической обсерватории «Борок» - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ГО «Борок» ИФЗ РАН). Одно из основных направлений научно-исследовательской деятельности ГО «Борок» ИФЗ РАН заключается в исследовании геоэлектромагнитного поля и атмосферного электричества. Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации на совместном расширенном



заседании лаборатории геофизического мониторинга и учёного совета ГО «Борок» ИФЗ РАН протокол № 18 от 05 августа 2019 г.

Отзыв составили

Анисимов С.В.

Галиченко С.В.

Сведения о составителях отзыва:

Анисимов Сергей Васильевич, директор ГО «Борок» ИФЗ РАН, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории геофизического мониторинга ГО «Борок» ИФЗ РАН.

E-mail: anisimov@borok.yar.ru. Тел.: 8(48547)24663

Галиченко Сергей Вадимович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории геофизического мониторинга ГО «Борок» ИФЗ РАН.

E-mail: svga@borok.yar.ru. Тел.: 8(48547)24361

Подписавшие отзыв сотрудники согласны на обработку персональных данных и включение их в материалы, связанные с работой диссертационного совета.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН)

123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1

Тел.: +7 (499) 766-26-56, Факс.: +7 (499) 766-26-54

E-mail: direction@ifz.ru

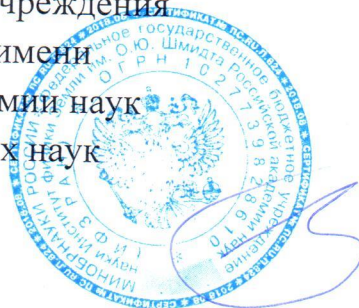
Сведения о ведущей организации, составителях отзыва и подписи Анисимова С.В. и Галиченко С.В. **заверяю**

Учёный секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения

науки Института физики Земли имени

О.Ю. Шмидта Российской академии наук

кандидат физико-математических наук



Погорелов В.В.