

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Маслова Сергея Алексеевича по теме «Роль электромагнитных механизмов в процессе формирования торнадо», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9-«Механика жидкости, газа и плазмы»

Участившиеся случаи проявления природных аномалий, приводящих к катастрофическим последствиям, в том числе, ураганов, смерчей и торнадо на территории нашей страны, ставят повышенные требования к научной общественности с точки зрения научного понимания и адекватного моделирования и прогнозирования этих явлений. В этом смысле тема настоящей работы представляется весьма актуальной.

Особо следует отметить тот факт, что большинство публикаций, посвященных моделированию торнадо, основаны на гидродинамических и термогидродинамических моделях несмотря на то, что эти явления связаны с грозовой активностью, формированием шаровых молний и другими проявлениями атмосферного электричества. Автором же работы предложен абсолютно новый подход, где развивается теория влияния различных электромагнитных факторов на процессы образования торнадо и низовых прорывов из материнского грозового облака, а также исследуется возможная связь электромагнитных явлений и гидродинамических характеристик формирующейся воронки смерча и струйного низового прорыва.

В работе ставятся и решаются следующие задачи:

1. Обоснование механизмов формирования нижнего положительного заряда в изначально дипольном грозовом облаке под влиянием сильных возмущений атмосферного электрического поля (АЭП) под облаком.

2. Построение математической модели, которая описывает ряд характерных черт процесса генерации воронки торнадо (образование воротника и каскада) на основе системы уравнений электрогидродинамики с учетом эффекта гигантской диэлектрической проницаемости (ЭГДП).

3. Исследование явления динамического зависания (левитации) капель воды с поверхностным зарядом двойного слоя в электрическом поле и в каскаде над морской поверхностью под опускающейся воронкой смерча.

4. Теоретическое исследование вертикального движения и усиления завихренности воронки торнадо, формирующейся в нижней части трипольного облака, под действием сильных возмущений АЭП под грозовым облаком.

5. Численное моделирование движения струйного низового прорыва из дипольного облака до контакта с земной поверхностью.

В первой главе производится обзор основных моделей и гипотез, связанных с образованием торнадо. При этом автор не просто делает научный обзор, а целенаправленно ищет доказательства того, что гидродинамический подход недостаточен для объяснения проблемы формирования торнадо, и на основании энергетических оценок приходит к выводу о необходимости рассмотрения эффектов, связанных с атмосферным электричеством. Впечатляет тот факт, что работа как бы перекликается с идеями Ломоносова об электрической природе торнадо, в дальнейшем забытых исследователями.

Вторая глава посвящена исследованиям динамики структуры облаков, порождающих торнадо, в частности, процессам, приводящим к формированию трипольной структуры, когда в нижней части облака формируется дополнительный положительный пространственный заряд. Здесь следует отметить, что в обозначениях автор отклоняется от системы обозначений, принятой в теории Глобальной Электрической Цепи, где вертикальное электрическое поле хорошей погоды, направленное к земле, считается положительным, тогда как у автора оно отрицательно ($E_z < 0$).

Разделы 2.2 – 2.5, на мой взгляд, представляют наиболее интересную и основную часть работы. Они закладывают теоретические основы наименее

исследованной области – зарождения и формирования торнадо. Самая начальная часть – формирование низового прорыва из грозового облака – рассмотрена в разделе 2.2. Установлено, что электрическое поле в области прорыва в 6 – 7 раз превышает поле под грозовым облаком.

Следует отметить, что задача формирования низового прорыва имеет не только научное значение в применении к формированию структуры торнадо, но важна и в прикладном плане. Известно, что ряд авиационных катастроф, примеры которых приводятся в работе, имели место как раз при столкновении самолетов с интенсивным нисходящим потоком.

В разделе 2.3 рассмотрена наиболее сложная часть – преобразование дипольной структуры облака в трипольную. В результате этого сильные возмущения атмосферного электрического поля приводят к падению ЭГД-давления, и как раз в области падения давления формируется воронка торнадо. У основания воронки может образовываться дополнительная структура, называемая воротником, а в нижней части у поверхности океана образуется каскадная структура, обволакивающая цилиндрическую часть воронки торнадо. Формирование воротника обеспечивается плато в вертикальном профиле атмосферного электрического поля и ЭГД-давления, описываемых формулой (3) при значении параметра β равного 0,85.

Для формирования каскада необходим механизм, объясняющий поддержание водной массы капель над поверхностью океана. Для этого предлагается оригинальный механизм левитации водяных капель, описываемый в разделе 2.4. Задача решается аналитически для капель с поверхностным двойным электрическим слоем (ДЭС), находящихся в вертикальном электрическом поле. Для решения задачи используется общее решение уравнений Стокса в сферических координатах.

Примечательно, что объяснение формирования каскадов высотой 25 – 30 метров, наблюдавшихся экспериментально, без привлечения эффектов электрического поля невозможно.

Решение задачи о левитации облегчается тем фактором, что в верхней

части каскада левитирующие капли находятся не в сухом воздухе, а в среде, наполненной гидратированными ионами с похожими гидродинамическими и диэлектрическими характеристиками.

Отмечается, что общей первичной причиной возникновения каскада под грозовым облаком из капель над морской поверхностью и частиц пыли над сушей являются сильные возмущения АЭП и холодный фронт воздуха, движущийся вдоль подстилающей поверхности впереди облака.

В целом следует отметить, что задача формирования сложных структур каскада, колебаний внутри него и добавочных еще необъясненных структур типа «футляра» вокруг воронки торнадо еще далека от своего разрешения.

В разделе 2.5 рассматривается вертикальное движение воронки торнадо (поднятие и опускание). Решение получается при определенных допущениях: облачная среда полагается несжимаемой, движение воронки считается осесимметричным, а высота и радиус воронки считаются малыми в сравнении с соответствующими размерами облака.

Результаты расчетов показывают, что вследствие сужения воронки по мере вытягивания за счет электрических сил циркуляция ее азимутальной скорости со временем возрастает. Это хорошо согласуется с экспериментальными наблюдениями формирования и опускания торнадо. Рост циркуляции обусловлен как термогидродинамическими факторами (растяжение вихревых линий, наличие температурного градиента и т.д.), так и электрическими механизмами. Данные факторы могут играть существенную роль в генерации завихренности формирующейся воронки.

Задачи завихренности воронки рассмотрены в третьей главе.

В третьей главе рассматриваются электромагнитные факторы и механизмы усиления завихренности в воронке торнадо. Основными причинами завихренности являются сильная неоднородность закрутки потока и резкий перепад давления в поперечном сечении воронки. Как отмечается в литературе, азимутальная скорость в стенках воронки значительно превышает таковую в центре нее, а подъем тяжелых предметов при прохождении торнадо

свидетельствует о наличии интенсивных вертикальных восходящих потоков.

В данной главе основное внимание уделяется влиянию электромагнитных факторов на завихренность воронки торнадо.

В разделе 3.1 рассматривается развитие неустойчивости Рэлея – Тэйлора как начало процесса образования воронки, где затем в процессе ее опускания в игру вступают электростатические силы взаимодействия воронки с подстилающей поверхностью. Это взаимодействие приводит к перераспределению электрических зарядов, когда ядро заряжается положительно, а стенки – отрицательно. Именно такое распределение приводит к возникновению горизонтального электрического поля, которое при взаимодействии с вертикальной составляющей геомагнитного поля B_z приводит к азимутальному закручиванию и усилению завихренности воронки. Данный механизм в дополнение к силе Кориолиса ускоряет циклоническую закрутку воронки.

В разделе рассматривается подобие возникновения азимутальной завихренности торнадо и интенсивных тропических циклонов – ураганов. Отмечается, что сила Кориолиса при закручивании тропических циклонов оказывает большее воздействие, чем при образовании торнадо из-за их маленьких пространственных размеров.

Если в разделе 3.1 рассматривался механизм азимутальной завихренности, то в разделе 3.2 исследуется завихренность в вертикальном направлении. Завихренность возникает под влиянием плавучести и сильных возмущений АЭП. Особо интересен результат, что развитие завихренности возникает за время на один два порядка меньшее, чем время формирования зрелого торнадо, т.е. завихренность возникает на начальной стадии его формирования.

В разделе 3.3 рассматривается влияние воздействия возмущений атмосферного электрического поля на азимутальную завихренность воронки. Рост завихренности соответствует усилению всасывания воздушных масс в воронку торнадо, а убывание – ослаблению притока воздушной массы. В случае широких торнадо электрический механизм с большим запасом подавляет силу

плавучести и может приводить к появлению нисходящих потоков вблизи воронки и, соответственно, оттоку воздушных масс от ее стенок.

В разделе 3.4 рассматривается турбулентный механизм генерации завихренности в развитой стадии воронки торнадо. В результате анализа установлено, что вклад турбулентности в завихренность среднего потока может составлять до 35% от влияния растяжения вихревых линий, что говорит о необходимости учета турбулентного механизма в процессе исследования атмосферных вихрей.

В заключении подведены итоги проведенных исследований и сформулированы их основные выводы, в основном, повторяющие содержание работы. Поэтому хотелось бы выделить основные результаты. В работе впервые достаточно убедительно показана необходимость учета воздействий электрического поля на развитие торнадо. При этом развит аналитический механизм, позволяющий оценить эти воздействия на разных фазах развития торнадо. Показаны зависимости от топологии электрического поля, трипольной структуры грозового облака, наличия двойного слоя на поверхности водяных капель, указаны причины завихренности в стенках торнадо.

В целом хотелось бы отметить фундаментальность работы, которая по своему уровню превышает требования, предъявляемые к кандидатским диссертациям.

Несомненно, работа является актуальной, так как позволяет проводить более осознанные исследования и работы по уменьшению последствий природных катастроф. И не только природных. Как было показано, результаты работы могут быть использованы при установлении причин авиационных катастроф, примером которых может быть последний инцидент с самолетом Сухой SSJ 100 при его посадке в Анталии 24 ноября 2024 г.

Диссертация написана хорошим и доступным языком, хорошо оформлена, в том числе благодаря наличию приложений, облегчающих чтение работы и позволяющих ее более глубокое изучение при знакомстве с приложениями.

Диссертация была широко представлена на различных конференциях и симпозиумах, результаты работы опубликованы в 19 научных работах, 8 из которых опубликованы в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus и/или RSCI.

Имеются следующие замечания:

1. В разделе 2.1 возникает вопрос по описанию формирования положительного заряда в нижней части облака. Известно, что в атмосфере все ионы гидратируются и, по сути, являются кластерными ионами. Какой критерий определяется автором по отношению к кластерным ионам, поднимающимся на периферию облака и в его середину: по размерам, по массе, по электрическому заряду?

2. В разделе 3.1 на рисунке 3.4 глобальные карты геомагнитного поля и траекторий движения ураганов и тайфунов представлены в разных распределениях по долготе: карта геомагнитного поля центрирована на долготе 0° , тогда как распределение траекторий ураганов на долготе 180° . Наверное, можно было бы поискать одинаковые представления.

3. Раздел 3.4, несмотря на приведённые расчеты, больше напоминает обзор статей других авторов, чем самостоятельное исследование.

Высказанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует заявленной специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1 – 2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Работа оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертационная работа Маслова Сергея Алексеевича «Роль электромагнитных механизмов в процессе формирования торнадо» выполнена на высоком научном уровне и имеет характер законченного научного исследования. Она соответствует специальности 1.1.9 - «Механика жидкости, газа и плазмы». Работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Я, Пулинец Сергей Александрович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного Совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук по специальности 01.02.03, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований» Российской академии наук, Отдел космической геофизики

ПУЛИНЕЦ Сергей Александрович

« 5 » декабря

2024 г.

Контактные данные:

тел.: [redacted] e-mail: [redacted]

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.03.04 – «Радиофизика»

Адрес места работы: 117997 Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук,
отдел космической геофизики
тел.: [redacted] e-mail: [redacted]

Подпись главного научного сотрудника ИКИ РАН
С.А. Пулинца удостоверяю

Ученый секретарь
к. ф.-м. н.



Садовский А.М.