

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
Маслова Сергея Алексеевича  
на тему: «Роль электромагнитных механизмов в процессе формирования  
торнадо»  
по специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы»**

Диссертационная работа Маслова Сергея Алексеевича посвящена теоретическому исследованию процессов, происходящих при образовании торнадо и низового прорыва из материнского грозового облака. В работе показывается, что для объяснения этих явлений необходимо учитывать влияние электромагнитных явлений.

Теоретическое изучение формирования торнадо и низовых прорывов, выявление основных причин их формирования и механизмов функционирования является актуальной задачей, поскольку существуют объективные трудности экспериментального исследования этого явления. Следует также отметить, что теоретическое исследование природных процессов вызывает необходимость решения ряда задач из разных областей механики сплошных сред, что способствует развитию этих областей. Каждая из таких задач может иметь самостоятельный интерес с точки зрения того раздела, к которому она относится.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Полный объем диссертации составляет 214 страниц, включая 1 таблицу и 51 рисунок. Список литературы содержит 213 наименований.

Во **введении** дается определение исследуемых явлений — торнадо и низовых прорывов — и подробно описываются их отличия от других атмосферных явлений, связанных с образованием вихрей. Обосновывается актуальность темы исследования роли электромагнитных явлений в образовании торнадо и низовых прорывов, описываются цели и задачи,

новизна работы и положения, выносимые на защиту, излагается научно-практическая значимость работы и использованные методы исследования.

**В первой главе** проведен обзор работ, в которых приведены основные гипотезы и модельные подходы к исследованию торнадо. **В разделе 1.1** дан обзор работ, в которых рассмотрены гидродинамические и термодинамические подходы и модели. Отмечается, что гипотезы и модели, не учитывающие электромагнитных эффектов, хотя на качественном уровне иногда позволяют обосновать некоторые закономерности поведения торнадо, не объясняют ряд важных явлений, некоторые из которых на уровне количественных оценок объясняются в диссертации. **В разделе 1.2** проведен критический разбор работ, в которых учитываются влияние электрических и магнитных полей на процесс образования торнадо.

**Во второй главе** рассмотрено влияние распределения заряда в материнском грозовом облаке на формирование струйных низовых прорывов и воронок торнадо в их начальной стадии до касания с подстилающей поверхностью. **В разделе 2.1** предложена двухпараметрическая аппроксимационная формула для вертикальной составляющей возмущений атмосферного электрического поля, где учитывается наличие атмосферного электрического поля ясной погоды и возможность его усиления на несколько порядков под грозовым облаком. **В разделе 2.2** приведено решение задачи о формировании низового прорыва из дипольного грозового облака. **В разделе 2.3** рассмотрены специфические явления, сопутствующие образованию торнадо. **В разделе 2.4** изложено аналитическое решение задачи о левитации капель жидкости в электрическом поле. **В разделе 2.5** исследуется влияние трипольной зарядовой структуры материнского грозового облака на вертикальное движение воронки торнадо.

**В третьей главе** рассмотрены процессы усиления завихренности в воронке торнадо, формирующейся из нижней части вращающегося материнского грозового облака, связанные с влиянием электромагнитного поля. **В разделе 3.1** проводится оценка и сравнение центробежной и

кулоновской сил, действующих на каплю в стенке воронки торнадо. Эти оценки показывают, что кулоновская сила превосходит центробежную, и, таким образом, может обеспечить сжатие формирующейся воронки и увеличение скорости ее вращения. Приведено решение задачи о влиянии магнитного поля Земли и радиального тока на рост завихренности в стенке воронки торнадо. В разделе 3.2 рассматривается задача о движении воздушно-капельных масс в воронке торнадо под действием электрической силы с учетом силы плавучести. На основании анализа выписанных для этой задачи уравнений показывается, что за счет электрического поля под грозовым облаком происходит усиление вертикальной завихренности. В разделе 3.3 на основании анализа этих уравнений исследуется влияние электрического поля на азимутальную завихренность. В разделе 3.4 на основе методов вейвлет-анализа исследован турбулентный механизм генерации завихренности в развитой стадии воронки торнадо. Показано, что турбулентные пульсации давления и скорости могут оказывать существенное влияние на интенсификацию крупномасштабной завихренности воронки смерча.

Во второй и третьей главах на основании уравнений, используемых для рассматриваемых задач, проводятся различные оценки, необходимые для того, чтобы объяснить различные особенности исследуемых явлений. Объяснения сопровождаются многочисленными описаниями конкретных явлений и ссылками на другие работы, посвященные данной теме.

**В заключении** подведены итоги исследований, проведенных в диссертационной работе.

**В Приложении А** изложены основные сведения о гидратированных кластерных ионах, связи их концентрации во влажной атмосфере Земли с вариацией солнечной активности и изменениями климата. Отмечено, что наличие таких ионов оказывает влияние на формирование поверхностного двойного электрического слоя у облачных микрокапель. Подчеркивается, что кластерные ионы и электромагнитные факторы играют важную роль в



генерации торнадо. Кроме этого в этом приложении приведено много сведений из других разделов науки о природных явлениях и из материаловедения.

В **Приложении Б** исследована возможность эффекта гигантской диэлектрической проницаемости суспензии проводящих жидких капель с тонким поверхностным двойным электрическим слоем в менее проводящей несущей среде. Наличие этого эффекта обеспечивается электрокапиллярным дрейфом капель и генерацией электровихревого течения. В результате такого движения капель разноименно заряженные обкладки двойного слоя приходят в движение, что приводит к появлению конвективных поверхностных антипараллельных токов, генерирующих собственное магнитное поле.

В диссертации показана необходимость учета совокупной роли сильных возмущений атмосферного электрического поля под грозовым облаком и возможного эффекта гигантской диэлектрической проницаемости в облаке на понижение давления под облаком и формирование торнадо и низовых прорывов. На основе решения системы уравнений электрогидродинамики показано, что повышение напряженности атмосферного электрического поля под грозовым облаком создает благоприятные условия для ускоренной реализации неустойчивости Рэля–Тейлора, в результате чего происходит образование низового прорыва из дипольного грозового облака и воронок торнадо из трипольного. В зависимости от вида возмущений атмосферного электрического поля под трипольным грозовым облаком формирующаяся из него воронка может как опускаться к земной поверхности с последующим образованием классического торнадо, так и зависать на некоторой высоте, совершая небольшие колебания или подниматься обратно в облако. Эти факты не нашли теоретического обоснования в моделях, где не учитывались электромагнитные механизмы генерации торнадо. В зависимости от стадии формирования трипольной структуры грозового облака соответствующая конфигурация возмущений атмосферного электрического поля способствует

образованию воротника в основании воронки торнадо (на начальной стадии) или каскада над подстилающей поверхностью под ее торцом. Наличие тонкого двойного слоя на поверхности капель воды в каскаде также дополнительно способствует их послойному зависанию над морской поверхностью. Сильные возмущения атмосферного электрического поля наряду с неоднородным распределением заряда стенок воронки являются одной из причин усиления завихренности именно в стенках смерча. Вклад электрических механизмов при этом может превышать влияние термогидродинамических факторов. Другие электромагнитные явления могут играть вспомогательную или ослабляющую роль в зависимости от конкретных условий.

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, изложенное ясным и понятным языком. Автореферат дает достаточно полное представление о тематике исследования. При этом он не загроможден излишними подробностями и читается с интересом.

Следует, однако, сделать некоторые замечания, некоторые из которых, возможно, будут стимулировать автора на продолжение и совершенствование исследований в данной области.

1. В задаче о левитации капли используется простейшая модель двойного электрического слоя, согласно которой он моделируется двумя обкладками конденсатора с одинаковой по модулю поверхностной плотностью заряда. Однако согласно более адекватным моделям двойной электрический слой состоит из адсорбционного слоя, толщиной которого можно пренебречь, и примыкающего к нему диффузионного слоя с объемной плотностью заряда, быстро убывающей по мере удаления от адсорбционного слоя. Поэтому в задачах, связанных с двойным электрическим слоем желательно было бы учитывать распределение заряда в диффузионном слое вдоль его толщины.

2. В разделе 1.2 утверждается, что задача электродинамики, когда из системы уравнений Максвелла нужно по данным распределениям

напряженностей электрического и магнитного полей определить переменные во времени плотности заряда и электрического тока, является некорректной, что затрудняет экспериментальное измерение распределение зарядов и токов. На самом деле затрудняет экспериментальное определение этих величин невозможность провести измерение напряженностей электрического и магнитного полей внутри грозового облака. Если бы это было возможно, то определение распределений зарядов и токов по напряженностям при помощи уравнений Максвелла и материальных соотношений не было бы проблемой. Именно эта невозможность и приводит к необходимости, как это отмечается в диссертации, выдвигать различные гипотезы для того, чтобы определить необходимые для объяснения явлений распределения зарядов и токов внутри грозового облака.

3. Приложение А содержит кроме необходимой для объяснения изучаемых в диссертации явлений информации о гидратированных кластерных ионах довольно много сведений и ссылок на работы, которые, являясь довольно интересными сами по себе, подчас никак не связаны с темой диссертационной работы.

4. В тексте диссертации используются необщепринятые сокращения, что затрудняет чтение и восприятие смысла. Использование таких сокращений вполне оправдано для работ, у которых сильно ограничен объем. При этом в силу краткости таких работ легко можно найти расшифровку сокращения в тексте. Для работ такого объема, как диссертация, расшифровку сокращения часто приходится искать в другой главе. Отказ от использования сокращений не сильно бы увеличил объем диссертационной работы.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует 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 ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также 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.

Таким образом, соискатель Маслов Сергей Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,  
научный сотрудник

Научно-исследовательского института механики МГУ им. М.В. Ломоносова  
ТЯТЮШКИН Александр Николаевич

«27» ноября 2024 г.

Контактные данные:

тел.: [REDACTED], e-mail: [REDACTED]

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:

1.1.9 (01.02.05) – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Адрес места работы:

119192, г. Москва, Мичуринский проспект, д. 1,  
НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова,  
лаборатория физико-химической гидродинамики  
тел.: [REDACTED]; e-mail: [REDACTED]

Подпись научного сотрудника  
НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова  
А.Н. Тятюшкина удостоверяю:  
и.о. директора НИИ механики МГУ



[REDACTED] Д.В. Георгиевский  
«28» ноября 2024 г.