

**ОТЗЫВ
официального оппонента**

**на диссертацию Капорцевой Ксении Борисовны
на тему «Модель прихода солнечных корональных выбросов
массы к Земле и оценка их геоэффективности»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

Диссертационная работа Капорцевой Ксении Борисовны посвящена исследованию распространения корональных выбросов массы (КВМ) в межпланетном пространстве с учетом их взаимодействия с фоновым солнечным ветром.

Актуальность темы обусловлена высокой геоэффективностью КВМ при достижении ими магнитосферы Земли, т.е. способностью возмущенного солнечного ветра, соответствующего КВМ, приводить к геомагнитным возмущениям. Вместе с тем, прогнозирование распространения КВМ в межпланетном пространстве и их прихода к Земле пока вызывает значительные трудности, которые и требуют исследований в этом направлении.

В диссертации получен ряд новых результатов по определению исходных параметров КВМ, систематизации имеющихся экспериментальных данных, расчету распространения КВМ и анализу точности прогнозов их прихода к Земле. Эти новые результаты кратко охарактеризованы ниже при изложении содержания диссертации.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Во введении описан объект исследования и охарактеризовано современное состояние проблемы, обоснована актуальность темы и поставленных конкретных задач, дано краткое изложение полученных новых результатов и их научной и практической значимости, сформулированы положения, выносимые на защиту, оценена степень до-

стоверности результатов, описан личный вклада автора в получение этих результатов, даны сведения об аprobации результатов, приведены перечень публикаций автора по теме диссертации и краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе дан сравнительный обзор существующих моделей распространения КВМ и проблем такого моделирования.

Во второй главе изложены алгоритм и результаты моделирования распространения КВМ с помощью модели трения (Drag Based Model, DBM). Для расчета трения использована предложенная ранее в НИИ-ЯФ МГУ эмпирическая модель квазистационарных потоков солнечного ветра, связывающая скорость фонового солнечного ветра с площадью корональных дыр. Проведено сопоставление результатов моделирования для разных источников данных о начальных параметрах КВМ. Сделан вывод о том, что из трех вариантов выбора данных наилучшее согласие расчётного времени прихода корональных выбросов массы с наблюдениями обеспечивается при использовании данных каталога CACTus, определённых по наблюдениям коронографа LASCO.

В третьей главе описан и применен алгоритм объединения трех из существующих каталогов КВМ на земной орбите (межпланетных КВМ, или МКВМ). В результате создан объединенный каталог МКВМ. Проведен анализ объединенного каталога для интервала 2010–2018 г.г. Показано, что наиболее геоэффективные МКВМ встречаются во всех трех исходных каталогах, причем обладают наибольшей продолжительностью и скоростью распространения.

В четвертой главе изучается возможность отбора геоэффективных КВМ по их проявлениям в наблюдениях солнечной короны. Предложен и реализован алгоритм отбора событий для использования в режиме, близком к режиму реального времени, который включает оценку геоэффективности по параметрам корональных затемнений в УФ диапазоне

(диммингов). Продемонстрирована эффективность этого алгоритма.

В пятой главе предложен и изучен алгоритм прогноза скорости солнечного ветра, объединяющий модель квазистационарных потоков фонового ветра и прогноз МКВМ. Продемонстрировано улучшение характеристик общего прогноза примерно на 10% (на примере интервала 2010 года) при учете предсказываемых событий МКВМ. Показано, что около 2/3 МКВМ для этого интервала имели более низкую скорость, чем средняя скорость солнечного ветра.

Апробация результатов. Результаты работы опубликованы в пяти статьях в авторитетных российских и международных журналах, индексируемых в базах данных WoS и Scopus и в одной статье в журнале “Ученые записки физического факультета Московского университета”, индексируемом в РИНЦ. По результатам представлены доклады на ведущих российских и международных научных конференциях.

Достоверность полученных в диссертации результатов, помимо апробации путем их опубликования в научной печати и представления на конференциях, определяется грамотным использованием известных теоретических и эмпирических подходов и разработанных ранее моделей и детальным сопоставлением новых результатов с опубликованными в научной литературе.

Диссертация имеет ясную и логичную структуру и в целом грамотно написана и легко читается.

Замечания. К работе есть лишь относительно небольшие замечания по существу и также некоторые замечания по стилю изложения и грамматике. Они приведены ниже.

Формулировка нового результата на с.8 (“В работе предложен новый алгоритм, объединяющий существующие численные и эмпирические методы моделирования прихода КВМ на 1a.e....”) не вполне корректна,

поскольку объединены лишь две модели — одна эмпирически описывает торможение или ускорение КВМ о фоновым солнечным ветром, а вторая — скорость этого фонового ветра.

При обсуждении МГД моделей можно было бы дополнить их перечень — например, такой известной моделью как AWSOM (https://ccmc.gsfc.nasa.gov/models/SWMF~AWSOM_R~1.0). В разделе 1.2 не указана достигаемая этими моделями точность прогнозов, лишь отмечено отсутствие их общедоступных онлайн реализаций (кстати, для AWSOM существует возможность запуска по запросу). Некоторые данные о погрешностях МГД моделей приведены при сравнении с эмпирическими моделями в разделе 1.3.5, но нет информации о том, как оценивают точность этих моделей их авторы.

В главе 3 говорится, что объединенный каталог МКВМ проанализирован за 2010–2018 годы, но во введении сказано, что интервал анализа — 2010–2023 годы.

Ниже приведены более мелкие замечания включая стилистические неточности.

c.15: “получили названия межпланетные КВМ (МКВМ)”

c.17: “ проведен его анализ объединенного каталога МКВМ”

c.18: Модель QSW, по которой, судя по тексту, должна рассчитываться скорость фонового солнечного ветра, упоминается только во введении (c.18), где аббревиатура не расшифрована. Но эта аббревиатура отсутствует где-либо еще в тексте диссертации. В главе 4 для модели расчета используется один раз сокращение КСВ (неудачное, поскольку оно дублирует известное сокращение для сочетания “корональный выброс массы”) и один раз — КС.

c.25: противопоставление МГД и численных моделей некорректно.

с.26: не сказано, что за внутренняя граница находится на расстоянии 20 солнечных радиусов.

с.31: непонятно, почему первые два уравнения в работе имеют номера 11 и 22 и почему за номером 22 следует 1.

с.35: “авторы проанализированы”; “при чем”; “ужа на близких к Солнцу расстояниях”.

с.75: “необходимость... допускает некоторые неточности...”

с.80: заголовок “Фильтр узких” напоминает о “Стране глухих”.

с.84: объединенный каталог МКВМ описан в Главе 3, а не 2.

В ряде мест отсутствуют необходимые запятые: с.20, строка 8; с.22, строка 5; с.34, строка 1; с.35, строка 13 и т.д.

В тексте есть опечатки (например, с.33; с.54 и далее — Advansed DBM; разд. 2.1 строка 2; и т.д.). Отмечу, что число опечаток не очень велико.

Выводы. Сделанные замечания не умаляют новизны и важности полученных результатов и, в целом, значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия, а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертация 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 Капорцева Ксения Борисовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
главный научный сотрудник Федерального государственного
бюджетного научного учреждения «Полярный геофизический
институт» (ПГИ),
заведующий сектором Федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики Российской академии наук
им. А.В. Гапонова-Грехова» (ИПФ РАН)

Демехов Андрей Геннадьевич

02.10.2025

Контактные данные:

телефон: (81555) 79–475, e-mail: demekhov@pgia.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация:

01.04.08 — Физика плазмы

Адрес места работы:

184209, г.Апатиты, Академгородок, 26а
телефон: (81555) 76–530, e-mail: admin@pgia.ru

Подпись сотрудника ПГИ А. Г. Демехова заверяю:

Ученый секретарь ПГИ

Т. А. Попова