

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Власова Александра Александровича** «Исследование пространственной структуры монохроматических альфвеновских волн в магнитосфере Земли», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате»

Выяснение физической природы и механизмов генерации УНЧ волн в околоземной плазме требует решения задачи определения пространственно-временной структуры изучаемых волн. Эту задачу удавалось решить, и то частично, только для уникальных событий с использованием многоспутниковых наблюдений. В диссертационной работе автор развил теоретический подход, который позволяет получать информацию о поперечной пространственной структуре разных типов монохроматических альфвеновских волн в магнитосфере Земли по данным одного спутника. Для этого в криволинейной системе координат для холодной плазмы выведены уравнения, описывающие пространственную структуру разных типов альфвеновских волн – тороидальных, полоидальных, и собственных колебаний в поперечном резонаторе. Уравнения решены численно и построены графики амплитудно-фазовой структуры поперечных компонент магнитного поля волны. Показано, что совокупность таких графиков является уникальной для каждого типа альфвеновских волн. Потенциально с их помощью можно определить тип волны, используя только данные одного инструмента с одного спутника. Автором проведена апробация разработанного метода для случая наблюдения альфвеновской волны по данным спутника Van Allen Probes. Проведено сопоставление теоретической модели и численных расчётов с данными наблюдений. Обнаружено, что разность фаз между поперечными компонентами монотонно менялась от  $\pi/2$  до  $-\pi$ , что позволило определить, когда спутник находился в областях прозрачности и непрозрачности в окрестности экстремума в распределении альфвеновских собственных частот.

Также в работе детально рассмотрены альфвеновские колебания с малыми поперечными масштабами, когда начинают проявляться дисперсионные эффекты. Эти эффекты включают инерционный предел, где учитывается инерционная электронная длина, и кинетический предел, в котором необходимо учитывать конечный ларморовский радиус ионов. Разработанная теория применена для интерпретации генерации кинетических альфвеновских волн вблизи переходного слоя в окрестности плазмопаузы. Диссертантом исследована возможность возбуждения стабильных красных авроральных дуг (SAR-дуг) в результате формирования потока надтепловых электронов за счёт энергии поглощённых кинетических альфвеновских волн. Получена аналитическая формула для плотности потоков электронов, учитывающая геометрию силовых линий магнитного поля, пространственные масштабы, и ширину спектра источника. Полученные оценки позволяют предположить, что механизм резонансной конверсии внешних МГД возмущений в кинетические колебания достаточно эффективен для генерации SAR-дуг средней и высокой интенсивности.

В работе мне понравилась тщательность изложения материала и математических выкладок, так что текст диссертации можно использовать как учебник по дисперсионным альвеновским волнам. Тем не менее я должен отметить и некоторые недоработки диссертационной работы.

Теоретические модели, подобные изложенным в диссертации, применяются для описания альвеновского нагрева авроральной плазмы на высоких широтах и возможности образования «альвеновской авроры». Было бы интересно сопоставить подобие и различие механизмов альвеновского нагрева в области плазмопаузы и аврорального овала.

Кинетические эффекты для мелкомасштабных колебаний могут не проявиться из-за столкновительной диффузии в ионосфере, которая «давит» альвеновские колебания с поперечными масштабами менее 2 км. Стоило бы рассмотреть, насколько это обстоятельство важно для разработанной модели.

Автором крайне скупо приводятся экспериментальные свидетельства в поддержку своей теории образования красных дуг. Остаётся непонятным, действительно ли образование дуг коррелирует с усилением волновой активности в ночной магнитосфере?

Построенная автором методика определения пространственной структуры по фазовым соотношениям между компонентами поля волны рассматривает только магнитные компоненты. Стоило бы рассмотреть и амплитудно-фазовые свойства электрической компоненты волны, которая уверенно измеряется на современных спутниках. Это могло бы дать новую дополнительную информацию о природе изучаемых волн.

Тем не менее, в целом диссертация Власова А.А. является качественной и законченной научно-квалификационной работой. Работа соответствует всем критериям, установленным пп. 9-14 "Положения о присуждении учёных степеней", и её автор Власов А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».

  
Пилипенко Вячеслав Анатольевич  
д.ф.м.н., проф., зав. лаб. физики околоземного пространства  
Институт физики Земли РАН  
123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10.  
тел. +7-903-6184666 (моб)  
E-mail: pilipenko\_va@mail.ru  
Диссертация защищена по специальности 01.03.03 – Физика Солнца

Ученый секретарь Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН  
к.ф.-м.н. Лиходеев Дмитрий Владимирович  
15 сентября 2025 г.

