



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИКИ РАН

член-корреспондент РАН Петрукович А.А.

12 декабря 2023г.

Отзыв

На диссертацию **Рубцова Александра Валерьевича** «Особенности поляризации и пространственного распределения ультранизкочастотных волн в магнитосфере Земли по данным космических аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»

В бесстолкновительной околоземной плазме ускорение частиц радиационного пояса происходит посредством электромагнитных полей волн и излучений, и важную роль в этом процессе играют волны УНЧ диапазона. Построение адекватной модели динамики радиационного пояса, позволяющей предсказывать опасность для спутниковой электроники, требует детальной информации о пространственном распределении, поляризации, и свойствах различных типов УНЧ волн, заполняющих магнитосферу. Представленная работа крайне актуальна т.к. она нацелена на решение этой проблемы.

Целью работы является сопоставление существующих теоретических представлений о видах УНЧ-волн, их параметрах и механизмах генерации со свойствами этих волн в магнитосфере Земли по результатам наблюдений на космических аппаратах. В диссертации анализируются измерения магнитного и электрического полей в УНЧ диапазоне, потоков ионов и электронов разных энергий, полученные спутниковыми миссиями THEMIS, Van Allen Probes, GOES, Arase. Соискателем получены следующие новые результаты:

Впервые было экспериментально доказано по данным спутников миссии THEMIS существование дрейфово-компрессионной волны, предсказанной в теоретических исследованиях ИСЗФ, которая возбуждается облаком ионов с энергией 10–140 кэВ, образовавшимся в результате суббуревой инжекции. Найдены события, в которых градиентная неустойчивость приводит к генерации как полоидальной альвеновской волны, так и дрейфово-компрессионной волны. При детальном анализе была определена энергия резонансных протонов, 100 ± 20 кэВ, и тип резонанса - баунс-дрейфовый резонанс со второй гармоникой полоидальной волны. Используя метод конечного гирорадиуса, было оценено азимутальное волновое число $m = 220 \pm 30$. Было показано, что волна генерируется градиентной неустойчивостью из-за большого отрицательного радиального градиента $\partial F / \partial L$. Наглядно показано, что наблюдаемая компрессионная волна не может быть объяснена широко популярной интерпретацией — дрейфово-зеркальной неустойчивостью.

Обнаружено, что УНЧ-волны в диапазонах Pc4-5 не разделяются на отдельные общепринятые кластеры по поляризации (полоидальная и тороидальная моды), а представляют собой единый кластер с нормальным распределением и максимумом в области волн с равной амплитудой азимутальной и радиальной составляющих. Также впервые экспериментально подтвержден эффект обратимого изменения поляризации волны с полоидальной на тороидальную в процессе её распространения. Оказалось, что процесс изменения поляризации альвеновских волн в пространстве и во времени происходит регулярно и приводит к перемешиванию тороидальных и полоидальных мод, изначально возбуждаемых разными источниками.



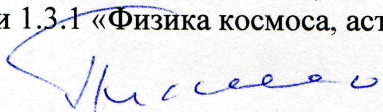
Установлено, что расширение плазмосферы в периоды спокойной геомагнитной обстановки влечёт за собой уменьшение области генерации УНЧ волн и наоборот, сжатие плазмосферы при росте геомагнитной активности приводит к увеличению области генерации. Таким образом, плазмопауза выступает в роли внутренней границы области генерации волн диапазонов Pc4-5. Обнаружено, что максимум частоты появления волн отстоит от плазмопаузы на 1–2 R_E при любых геомагнитных условиях, а на самой плазмопаузе нет локального максимума, как ранее предполагалось во многих теориях. Хотя при анализе данных плазмопауза определялась только по электронной концентрации, и не учитывалась роль тяжелых ионов, определяющих альвеновскую скорость, что может сильно исказить радиальный профиль альвеновской скорости по сравнению с электронной плазмопаузой.

Полученные статистические распределения основаны на разработанном соискателем алгоритме автоматического разделения на тороидальные, полоидальные и компрессионные моды. Получилось, что компрессионные волны наблюдаются только вблизи магнитосферного экватора и разделяются строго на две популяции: генерируемые на дневной стороне прямым воздействием солнечного ветра и возбуждаемые при суббурях на вечерней/ночной стороне. Однако используемый алгоритм еще недостаточно совершенен, в частности он не учитывает особенности продольной структуры волн вблизи магнитного экватора (где образуется узел или пучность различных мод), что может приводить к ошибочной идентификации. В частности, на это указывает странный результат работы: как будто на дневной стороне генерируется больше полоидальных волн, а на ночной стороне — больше тороидальных, что явно противоречит существующим представлениям о том, что тороидальные волны генерируются солнечным ветром, а полоидальные — неустойчивостями потоков энергичных частиц внутри магнитосферы.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается использованием откалиброванных и многократно использованных данных космических аппаратов THEMIS, Van Allen Probes, GOES, Arase. Полученные соискателем результаты и выводы опубликованы в международных журналах с жесткой системой рецензирования.

Результаты, представленные в диссертации, в полной мере опубликованы в наиболее престижных в космической геофизике журналах. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы. Отрадно, что мощная сибирская школа по теории космической плазмы теперь дополнилась экспериментальными работами на мировом уровне. Доклад соискателя по диссертации заслушан и отзыв на диссертацию одобрен на онлайн семинаре отдела 54 ИКИ РАН 29.11.2023 г.

Диссертация Рубцова А.В. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. В целом, диссертация соответствует всем критериям, установленным пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»



Отзыв подготовил доктор физико-математических наук, профессор Пилипенко Вячеслав Анатольевич. Диссертация защищена по специальности: 01.03.03 – Физика Солнца.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской Академии Наук, старший научный сотрудник.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

E-mail: pilipenko_va@mail.ru, Тел.: +7-495-3331040

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской Академии Наук.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

Сайт: iki.cosmos.ru, E-mail: iki@cosmos.ru, Тел.: +7-495-333-52-12