

"Отзыв утверждаю"

директор ИФЗ РАН

чл.-корр. РАН Тихоцкий С.А.



10 октября 2017

**Отзыв ведущей организации
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук
на диссертационную работу Михайловой Ольги Сергеевны
«Короткопериодные УНЧ волны в многокомпонентной космической плазме»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 25.00.29 - Физика атмосферы и
гидросферы**

Основной целью диссертационной работы являлось теоретическое исследование влияния примеси тяжелых ионов на распространение короткопериодных УНЧ волн диапазона Pc1 (доли Гц) в магнитосферной плазме. В связи с этим была построена модель продольной структуры квази-поперечных электромагнитных ионно-циклотронных волн при учете в составе плазмы тяжелых ионов, предсказана возможность образования в приэкваториальной области магнитосферы резонатора, и проведен расчет его собственных мод. Рассмотрена структура областей прозрачности и непрозрачности, исследована поперечная пространственная структура ионно-циклотронных волн, локализованных вблизи плазмопаузы.

Актуальность работы обусловлена необходимостью определения параметров и механизмов геомагнитных пульсаций диапазона Pc1, которые предположительно могут приводить к высыпанию в атмосферу релятивистских электронов и тем самым определять динамику внешнего радиационного пояса Земли. Таким образом, работа имеет важное научное и практическое значение.

Новизна. В работе предложено и обосновано несколько новых научных идей, в т.ч. впервые аналитически рассчитана продольная и поперечная структуры и спектр квази-поперечных ионно-циклотронных волн при наличии примеси тяжелых ионов, объясняющие локализацию волн поперек магнитных оболочек вблизи плазмопаузы.

Достоверность результатов обусловлена строгостью методов математического аппарата современной теории плазмы. В предельных случаях полученные выражения сводятся к известным классическим соотношениям, а также согласуются с результатами других теоретических работ и наблюдений.

Значимость. Представленные в работе результаты являются обобщением результатов более ранних работ, посвященных аналогичным проблемам. Они получены на основе объединения разных подходов к решению поставленных задач. Модель экваториального резонатора — это шаг к построению общей модели формирования и распространения ионно-циклотронных волн в магнитосфере, а также к лучшему пониманию процессов взаимодействия волн и частиц в околоземном пространстве.

Структура работы и полученные автором результаты. Введение содержит основные сведения о магнитосфере, обзор наблюдений геомагнитных пульсаций (УНЧ волн), а также основы теоретического описания МГД и ионно-циклотронных волн и процессов их распространения. Дано описание современных моделей формирования Pc1 волн: модель осциллирующего волнового пакета, модуляция амплитуды колебаний Pc1 длиннопериодными пульсациями Pc3–4; образование поперечного резонатора для этих волн вблизи плазмопаузы; и образования продольного резонатора в приэкваториальной магнитосфере при наличии тяжелых ионов. Отмечено существенное упрощение предшествующих моделей, основанных на представлении о бесконечном поперечном масштабе генерируемых ионно-циклотронных волн.

В главе 1 дано обоснование использования квазипоперечного приближения и исследована продольная структура квазипоперечных УНЧ волн. Действительно, спутниковые наблюдения пульсаций Pc1 показали, что колебания локализованы в магнитосфере на достаточно малых пространственных масштабах от десятков до сотни км. Получены основные уравнения в криволинейной системе координат, обосновано существование областей прозрачности/непрозрачности и сингулярности для волн с частотой порядка гирочастоты тяжелых ионов. Показана возможность образования вблизи геомагнитного экватора резонатора, ограниченного двумя точками поворота. Найден спектр собственных частот этого резонатора, и предсказано формирование биений гармоник с тесным спектром.

В главе 2 исследованы резонаторы для альфвеновских волн, расположенные в областях прозрачности, прилегающих к ионосфере. Предсказано существование в приионосферной области прозрачности собственных колебаний.

В главе 3 исследована с учетом наличия примеси тяжелых ионов поперечная пространственная структура УНЧ колебаний вблизи плазмопаузы, где радиальный профиль альфвеновской скорости имеет локальный минимум. Показана возможность образования волновода в радиальном направлении. Получено решение волнового уравнения, имеющего вид уравнения Шредингера с потенциальной ямой, которое описывает поперечную структуру колебаний: в глубокой яме имеется множество дискретных уровней энергии, в случае мелкой ямы в волноводе возбуждается только одна мода собственных колебаний. Таким образом, волна должна быть заперта в узкой серповидной области вблизи экваториальной поверхности.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы. Из наиболее интересных результатов можно отметить следующие: в плазме с примесью тяжелых ионов в вершине силовой линии формируется резонатор для квазипоперечной альфвеновской ионно-циклотронной волны. В резонаторе одновременно возбуждается большое число собственных гармоник, которые формируют биения, характерные для Pc1. Показано, что вблизи плазмопаузы при учете тяжелых ионов волна оказывается заперта в резонаторе как вдоль силовых линий, так и в направлении поперек магнитных оболочек. При этом продольный и поперечный размеры резонатора определяются плотностью тяжелых ионов.

Диссертация снабжена ссылками на цитируемые источники и упоминаемые результаты других авторов. Некорректных заимствований текста или результатов не обнаружено.

Замечания. Хотя работа представляет собой высокопрофессиональное и математически элегантное теоретическое исследование, однако вопросы геофизических приложений построенных моделей рассмотрены явно недостаточно. Так, например, возникают следующие важные вопросы:

- при отклонении ионно-циклотронной волны от продольного направления распространения эффективность циклотронного резонанса резко падает. Каким же образом тогда генерируются колебания с квази-поперечным распространением?
- обычно в магнитосферной плазме наблюдаются сразу два сорта тяжелых ионов (кислород и гелий). Что качественно изменится в построенной модели при учете этого обстоятельства?
- последние спутниковые данные показывают, что Pc1 волны не привязаны тесно к плазмопаузе. Чем тогда обусловлена их узкая поперечная локализация? Насколько глубоким и широким должен быть минимум альвеновской скорости для запираения волны в волноводе?
- какие наблюдательные тесты (на спутнике или на земле в сопряженных точках) помогли бы установить наличие приэкваториального резонатора? При каких концентрациях тяжелых ионов должно начинаться образование резонатора, и при каких волна будут полностью заперты в магнитосфере и не смогут просочиться к земной поверхности?
- могут ли узко-локализованные пакеты ионно-циклотронных волн вызывать заметное опустошение внешнего радиационного пояса?

Указанные замечания не уменьшают научную значимость полученных в диссертационной работе результатов, а показывают, что проблему происхождения волн и сигналов в космической плазме пока нельзя считать окончательно решенной. Несомненно, что работа подтверждает высокую квалификацию соискателя, представляет собой законченное научное исследование и содержит новые идеи и результаты.

Заключение.

Содержание диссертации соответствует заявленной специальности 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы. Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК и достаточно полно отражает содержание диссертации. Диссертация снабжена ссылками на цитируемые источники и упоминаемые результаты других авторов, некорректных заимствований текста или результатов не обнаружено. Авторство полученных в диссертации результатов принадлежит лично автору.

Основные результаты работы опубликованы в 9 статьях, 3 из них опубликованы в престижных рецензируемых научных изданиях, включенных в международные базы цитирования и рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций. Результаты исследования неоднократно докладывались на отечественных и международных конференциях и хорошо известны специалистам.

Полученные результаты могут быть применены в ИСЗФ СО РАН, ИФЗ РАН, ИКФИА СО РАН, ПГИ и других отечественных и зарубежных организациях геофизического и космического профилей.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что рассматриваемая диссертация удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней,

утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации «О порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями, внесенными постановлениями Правительства РФ за № 723 от 04.08.2014, за № 335 от 21.04.2016, за № 748 от 02.08.2016), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а О.С. Михайлова заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.

Отзыв составлен заведующим лабораторией физики околоземного пространства (402) ИФЗ РАН профессором, доктором физико-математических наук Пилипенко Вячеславом Анатольевичем.

Отзыв заслушан на объединенном заседании лаборатории физики околоземного пространства (402) ИФЗ РАН и лаборатории геоэлектродинамики (403) ИФЗ РАН. По результатам обсуждения отзыв одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации (протокол № 4 от "26" октября 2017 г.)

Председатель семинара:

Похотелов Олег Александрович

доктор физико-математических наук, профессор

заведующий лабораторией геоэлектродинамики (403) ИФЗ РАН

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта Российской академии наук

Почтовый адрес:123242 Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр.1

Тел.: 8 (499) 254-88 05, E-mail: pokh@ifz.ru



О.А. Похотелов

"26" октября 2017 г.

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (сокращенно - ИФЗ РАН)
123242, Москва, Б. Грузинская ул., д.10. стр.1. Тел.: 8 (499) 766-2656. Факс: 8 (499) 766-2654.

E-mail: direction@ifz.ru

Директор: Тихоцкий Сергей Андреевич, член-корреспондент Российской академии наук, Профессор Российской академии наук, доктор физико-математических наук.

Подпись д.ф.-м.н, проф. А.О. Похотелова заверяю.
ученый секретарь ИФЗ РАН



В.В. Погорелов