

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Михайловой Ольги Сергеевны «Короткопериодные УНЧ-волны в многокомпонентной космической плазме», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.

Диссертация О.С. Михайловой посвящена одной из важных проблем космической геофизики – электромагнитным УНЧ колебаниям (или геомагнитным пульсациям) в магнитосфере и ионосфере Земли. Детально в работе исследован наиболее высокочастотный диапазон – Pc1 пульсации. УНЧ волны доносят до земной поверхности информацию о процессах, протекающих в ближнем космосе. Они являются индикатором развития взрывных процессов в околоземном космическом пространстве (геомагнитных бурь, суббурь). УНЧ волны оказывают заметное влияние на потоки заряженных частиц в магнитосфере: они приводят к их ускорению, модуляции, высыпанию в атмосферу. Pc1 пульсации приводят к высыпанию в атмосферу релятивистских электронов, которые в состоянии приводить к уменьшению содержания озона в высокоширотной атмосфере. По характеристикам УНЧ волн на земной поверхности можно определять параметры плазмы, не доступные для спутниковых наблюдений. Поэтому актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

В диссертации Михайловой О.С. детально исследованы механизмы генерации, особенности распространения к земной поверхности, особенности поляризации в магнитосфере Земли Pc1 пульсаций. В работе использован теоретический подход для исследования данного явления. Прежние модели генерации Pc1 пульсаций сталкиваются с рядом противоречий с современными экспериментальными наблюдениями, полученными, например, на спутниках RBSP, THEMIS. Поэтому необходим пересмотр и дополнение прежних механизмов генерации. Основная особенность аналитической модели генерации Pc1 пульсаций, предложенного в диссертации Михайловой О.С., – это учет наличия примеси тяжелых ионов кислорода в магнитосферной плазме, которые приводят к существенным изменениям свойств среды: образованию областей прозрачности и непрозрачности для распространения волн.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 111 страниц, включая 36 рисунков, 3 таблицы. Список литературы содержит 120 наименований.

Введение содержит обзор процессов, происходящих в магнитосферно-ионосферной системе. Дано представление об основных типах геомагнитных пульсаций, теоретических способах их описания. Более подробно описаны различные механизмы генерации геомагнитных пульсаций Pc1 типа. На основе представленного обзора поставлена задача. Основной целью диссертационной работы является исследование влияния примеси тяжелых ионов на распространение короткопериодных УНЧ волн диапазона Pc1 в магнитосферной плазме.

В первой главе диссертации исследована структура Pc1 колебаний вдоль геомагнитного поля при наличии примеси тяжелых ионов в плазме. Во многих экспериментальных работах отмечается, что содержание ионов кислорода может быть сопоставимо с содержанием протонов. Структура Pc1 колебаний рассмотрена в квазипоперечном приближении, поскольку существует ряд экспериментальных фактов о сильной поперечной локализации Pc1 волн. Показано, что по разные стороны от экватора формируются области непрозрачности. Их существование препятствует распространению волнового пакета вдоль силовой линии с последующим отражением от ионосферы. Волны оказываются запертыми в экваториальном резонаторе. В резонаторе возбуждаются собственные моды колебаний. Спектр частот плотный, и гармоники колебаний возбуждаются одновременно, формируются биения, по своей форме напоминающие структуру “жемчужин”. Частота возбуждаемых в резонаторе колебаний соответствует частотному диапазону Pc1. Вблизи сопряженных ионосфер также формируются области прозрачности, ограниченные с одной стороны ионосферой и сингулярной точкой поворота с другой.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию продольной структуры волн в областях прозрачности вблизи ионосфер и в областях непрозрачности. Показано, что не существует одновременно такого линейно независимого решения, которое могло бы указывать на наличие собственных колебаний в приионосферной области. Таким образом, генерация собственных колебаний в приионосферном резонаторе невозможна. В области вблизи ионосферы образуется стоячая волна, источником которой является та часть волновой энергии, которая утекла из экваториального резонатора и в туннельном режиме проникла через области непрозрачности.

В главе 3 исследована глобальная пространственная структура УНЧ колебаний вблизи плазмопаузы с учетом наличия примеси тяжелых ионов в плазме магнитосферы.

На плазмопаузе радиальный профиль альфвеновской скорости имеет локальный минимум вследствие резкого изменения параметров плазмы. В этой области для волн Pc1 может образоваться резонатор в радиальном направлении. Наличие тяжелых ионов в плазме приводит к образованию областей непрозрачности и точек поворота на силовой линии. Таким образом, волна оказывается запертой в приэкваториальном резонаторе. Волна заперта в резонаторе как вдоль силовых линий в области магнитного экватора, так и в направлении поперек магнитных оболочек вблизи плазмопаузы. Продольный и поперечный размеры резонатора определяются плотностью тяжелых ионов. В резонаторе одновременно возбуждаются множество собственных гармоник колебаний, создающих волновые формы, похожие на форму “жемчужин” Pc1. Определен спектр частот собственных гармоник этого резонатора.

В Заключение сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

Таким образом, в диссертационной работе предложена и теоретически обоснована принципиально новая аналитическая модель генерации УНЧ колебаний Pc1 типа. Достоверность результатов, представленных в данной диссертационной работе, обусловлена использованием строгих методов математического анализа и теории возмущений. Многие численные оценки согласуются с данными наблюдений, полученных с помощью космических аппаратов.

Практическая ценность работы состоит в более глубоком понимании физики УНЧ волн, способных оказывать активное воздействие на факторы космической погоды в околоземном космическом пространстве. К таким факторам относятся: ускорение заряженных частиц до высоких энергий, приводящее к выходу из строя аппаратуры на спутниках; высыпание заряженных частиц в атмосферу, приводящие к помехам в радиосвязи, навигации, локации в высоких широтах. Полученные результаты могут быть использованы не только в физике околоземного космического пространства, но и в физике плазмы в целом.

Результаты работы неоднократно представлялись на международных научных конференциях, известны специалистам в области солнечно-земной физики. Из содержания диссертации виден высокий уровень владения математическим аппаратом и знаниями в области физики плазмы. Оригинальность полученных в работе результатов также не вызывает сомнений.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 3 статьях в международных журналах, входящих в список ВАК. Всего по теме диссертации опубликовано 9 печатных работ. Текст диссертации изложен ясным языком, диссертация хорошо оформлена.

Выносимые на защиту научные положения и выводы работы обоснованы глубоким теоретическим анализом и сравнением со спутниковыми и наземными экспериментальными наблюдениями.

У оппонента имеются небольшие вопросы и замечания к диссертационной работе, имеющие больше рекомендательный характер.

В разделе “Введение” на стр. 15 написано о том, что Pc5 пульсации наблюдаются “во время восстановительной фазы магнитной суббури в ночное время суток”. Но геомагнитные Pc5 пульсации, видимые на наземных магнитометрах, преимущественно наблюдаются в утреннем и дневном секторе. Например, см. работу [Baker G.J. et al., 2003]. Длиннопериодные пульсации в ночном секторе на фоне суббури принято относить к Pi3 (Ps6) типу.

- Baker G.J., Donovan E.F., Jackel B.J. A comprehensive survey of auroral latitude Pc5 pulsations characteristic // *J. Geophys. Res.*, vol. 108, A10, P. 1384-1397, 2003.

На стр. 14-15 автор диссертации пишет о механизмах генерации Pc2-4 пульсаций. Но непрерывные (continuous) пульсации по физической природе, скорее, принято делить на Pc1-2, Pc3-4, Pc5 типы [Villante, 2007]. Разделение пульсации на типы по морфологическим характеристикам происходило в то время, когда еще не знали более четко их физическую природу.

- Villante U. Ultra low frequency waves in the magnetosphere // *Handbook of the solar-terrestrial environment*. Ed. By Kamide Y. Springer. 2007.

Согласно механизму генерации Pc1 пульсаций, предложенному автором в диссертации, размер резонатора в экваториальной плоскости магнитосферы зависит от плотности ионов кислорода в магнитосфере. Соответственно, размерами резонатора будет определяться собственная частота колебаний. Во время геомагнитных бурь содержание ионов кислорода в магнитосфере увеличивается. Однако Pc1 пульсации могут возбуждаться и при отсутствии геомагнитной бури. Например, при резких скачках динамического давления солнечного ветра. То есть при разных геомагнитных условиях частота Pc1 пульсаций должна отличаться. Есть ли на данный момент экспериментальное подтверждение зависимости частоты Pc1 пульсаций от наличия или отсутствия геомагнитной бури, то есть от плотности ионов кислорода в магнитосфере? Было бы, на взгляд оппонента, полезно теоретически оценить частоту Pc1 пульсаций и другие характеристики при различном содержании ионов кислорода в магнитосфере.

Сделанные замечания не влияют на положительную оценку работы, которая, безусловно, выполнена на высоком научном уровне. Полученные в диссертации результаты можно охарактеризовать как заметный вклад в развитие научного направления

– УНЧ волновых электромагнитных полей в околоземном пространстве. Выносимые на защиту положения достоверны и четко характеризуют суть диссертационной работы. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих научных журналах, они прошли надежную апробацию на всероссийских и международных конференциях. Приведенные в диссертации результаты могут быть использованы в организациях, занимающихся исследованиями плазменных процессов в околоземном пространстве и электромагнитных полей Земли. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Таким образом, из изложенного выше следует, что диссертация Михайловой О. С. «Короткопериодные УНЧ-волны в многокомпонентной космической плазме» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.

Официальный оппонент,

к. ф.-м.н.

..... Белаховский В.Б.

Белаховский Владимир Борисович, кандидат физико-математических наук (специальность 25.00.10 – Геофизика. Геофизические методы поисков полезных ископаемых), научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Полярный геофизический институт».

Адрес: Мурманская область, г. Апатиты, улица Академгородок 26а.

Телефон: (81555) 79784.

E-mail: belakhov@mail.ru.

Подпись Белаховского В.Б. удостоверяю,

Заместитель директора по науке Полярного геофизического института,

д.ф.-м.н.



.....Сафаргалеев В.В.

« 19 » сентября 2017 г.