

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию А.С. Никитенко *«Исследование распространения и рассеяния аврорального хисса на мелкомасштабных неоднородностях по данным наземных наблюдений»*, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 — «Науки об атмосфере и климате»

Высокоширотные земные области вблизи Апатит, Мурманска и Баренцбурга теснее связаны с космосом из-за особенностей строения и динамики процессов в магнитосфере. Составной частью этих процессов является авроральный хисс, представляющий собой важный для физики околоземного космического пространства класс электромагнитных излучений. В обсуждаемой диссертации он был выбран в качестве объекта исследования с учетом имеющихся локальных преимуществ, доступности по средствам и возможностям небольшого коллектива.

Александр Сергеевич стремится к осмыслению комплексного подхода к проблеме формирования аврорального хисса, начиная с направленных к Земле вдоль силовых линий магнитного поля потоков энергичных электронов. Все остальное может и должно быть рассчитано и измерено. При выполнении работы автор проявил себя, как универсальный исследователь. Диссертация представляется избыточно теоретической для экспериментатора и избыточно экспериментальной для теоретика. Знакомство с диссертацией подтвердило резоны высокой оценки автора геофизиками первой руки.

Работа характеризуется логичным изложением материала. В первой главе обстоятельно рассмотрены основные аспекты современного состояния науки о возбуждении аврорального хисса, а также оценена возможность использования для решения поставленных задач существующих регистраторов шумовых широкополосных волновых полей, методов анализа наземных данных и моделей распространения электромагнитных волн в околоземном пространстве. Отмечено, что регистрируемый на земной поверхности хисс возбуждается в форме квазиэлектростатических возмущений в потоке высыпающихся электронов и выходит к земной поверхности в результате рассеяния на мелкомасштабных неоднородностях. Понятно, что это не просто обзор литературы, а очень толковая методичка для практической работы, в которой с чувством подчеркнута актуальность наземных наблюдений аврорального хисса, конечно, с использованием доступных данных наблюдений космических аппаратов.

Во второй главе приведены сведения о разработанном и использованном с участием автора регистраторе электромагнитных полей. Особое внимание было уделено разработке и реализации методов определения направления прихода излучений в пункт приема по

измерениям не только двух горизонтальных компонент магнитного поля, но и вертикальной компоненты электрического поля. Важным достижением работы является разработка и реализация процедуры подавление помех, обусловленных атмосфериками от дальних гроз. Устранялись помехи и от индустриальных источников, работающих на частоте 50 Гц.

В третьей главе реализована расчетная модель распространения аврорального хисса от источника до наземного наблюдателя. В качестве источника обсуждается генерация квазиэлектростатических колебаний с большими показателями преломления на резонансе Черенкова при выполнении условия Ландау в потоке высыпающихся энергичных электронов. Рассмотрено в борновском приближении рассеяние квазиэлектростатических колебаний на мелкомастабных неоднородностях, обеспечивающее попадание части волн в "конус выхода" на земную поверхность. Выбрана основанная на доступных в сети данных модель плоскостной ионосферы. С помощью известного метода преодоления расходимости численного счета для четырех локальных решений характеристического уравнения, автор определяет волновые поля на земной поверхности. Естественно эти результаты зависят от структуры областей с неоднородностями в магнитосфере и верхней ионосфере. Одним из важных результатов третьей главы является объяснение принципиальной возможности существования двух "областей засветки" на земной поверхности и диагностика на этой основе свойств областей с мелкомасштабными неоднородностями в магнитосфере и верхней ионосфере.

Четвертая глава содержит основанные на многолетних данных наблюдений результаты классификации пространственной структуры поля аврорального хисса. По данным на разнесенных пунктах наземного приема события разделены на несколько групп в зависимости от их поляризации и углов прихода на фиксированной частоте. По результатам наблюдений сделаны важные выводы о реальной возможности одновременного существования двух "областях засветки" и местоположении областей с мелкомасштабными неоднородностями в верхней ионосфере

Не умаляя значение полученных результатов о поляризации надо отметить, что поляризацию электромагнитных волн часто характеризуют параметрами Стокса, которые не упомянуты в тексте. При изложении условий выхода излучений к земной поверхности автором в разделе 3.2 дано только очень краткое описание направления работ, ведущих к результатам, а была бы полезна более подробная информация, например, для возможного повторения расчетов. Не отмечена особая роль на условия выхода к земной поверхности параметров нижней ионосферы и горизонтальных неоднородностей (Mizonova V.G., Bepalov P.A. Response of propagation of ELF electromagnetic waves through the morning ionosphere to small density variations caused by infrasonic wave, *Advance in Space Research*, 2024, v. 73, p. 3743-3752). Часть рисунков

представлена похоже прямо из доклада на VERSIM конференции с подписями на английском языке. Использование в одном тексте терминов вистлеры и свисты представляется не желательным. Верхняя частотная граница аврорального хисса много выше 30 кГц и поэтому часто использовать термин ОНЧ диапазон не целесообразно. На стр. 71 есть описка в формуле для распределения Максвелла, а также надо писать не "резонанс Ландау (выражение 1.3)", а "условие Ландау для частиц на резонансе Черенкова".

Отмеченные замечания показывают наличие перспектив дальнейших исследований, а уже достигнутые результаты работы можно рекомендовать для использования в ИПФ РАН, ОИФЗ РАН, ПГИ КФ РАН, ИЗМИРАН, ИКИ РАН.

На основании ознакомления с диссертацией можно сделать вывод, что работа полезна для фундаментальной и практической геофизики, перспективна и показывает высокую квалификацию автора. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Работа точно соответствует требованиям Положения о диссертациях, а ее автор заслуживает ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – "Науки об атмосфере и климате".

Согласен на обработку моих персональных данных, связанных с защитой данной диссертации.

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник

Сектор физики ионосферной и магнитосферной плазмы

Отдел астрофизики и физики космической плазмы

Доктор физико-математических наук

Профессор

 П.А. Беспалов

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики

им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук

603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Телефон: +7(831)4164732,

Электронная почта: peter@ipfran.ru

Докторскую диссертация оппонент защищал по специальности :

01.04.08 - «Физика и химия плазмы».

Подпись П.А. Беспалова заверяю

Ученый секретарь ИПФ РАН



И.В. Корюкин