



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор
Института космических
исследований РАН
член-корреспондент РАН
А. А. Петрукович

ОТЗЫВ

Ведущей организации – Федерального государственного научного учреждения «Института космических исследований РАН» о диссертации Никитенко Александра Сергеевича «Исследование распространения и рассеяния аврорального хисса на мелкомасштабных неоднородностях по данным наземных наблюдений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 - «Науки об атмосфере и климате».

Диссертация А. С. Никитенко посвящена изучению аврорального хисса - одного из важных волновых явлений, наблюдаемых как на земле, так и на спутниках. Авроральный хисс представляет собой шумовое излучение в широком частотном диапазоне от ~ 1 кГц до нескольких сотен кГц, спектрограмма которого не имеет выраженной частотно-временной структуры. Что касается плазменной моды, то авроральный хисс относится к свистовым волнам.

Исследование большинства волновых явлений в околоземной плазме включает определение механизма их генерации и особенностей распространения волн, формирующих данное волновое явление. Диссертация А. С. Никитенко включает экспериментальное и теоретическое исследование распространения аврорального хисса, в частности, анализ условий и механизма выхода излучения на землю.

Экспериментальная часть работы включала разработку и применение метода анализа наземных данных наблюдений аврорального хисса, в частности, метод подавления сигналов атмосфериков и других помех, которые доминируют на наземных ОНЧ спектрограммах. Теоретическая часть работы включала построение численной модели распространения аврорального хисса от области его генерации до области наблюдения на земле. Важнейшим элементом здесь является рассеяние квазиэлектростатических свистовых волн на мелкомасштабных неоднородностях плотности в верхней ионосфере, которое приводит к попаданию части излучения в конус прохождения, что является необходимым

условием наблюдения хисса на земле. В отсутствие рассеяния это излучение не выходит на землю, отражаясь от области, где частота излучения близка к частоте нижнего гибридного резонанса, либо испытывая полное внутреннее отражения при выходе из ионосферы в атмосферу.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения и списка литературы, который содержит 129 наименований. Объем работы составляет 133 страницы машинописного текста, в том числе 36 рисунков.

Во Введении изложена проблема исследования, сформулированы цель работы, ее новизна и практическая значимость. Здесь же приведены основные положения, выносимые на защиту, личный вклад автора в диссертационную работу, ее структура и объем.

Первая глава посвящена обзору имеющихся результатов, относящихся к авроральному хиссу. В общих чертах обсуждаются различные методы описания распространения ОНЧ волн в неоднородной околоземной плазме, включая их рассеяние на мелкомасштабных неоднородностях плотности, и приводятся основные уравнения, используемые в этих подходах. К ним относятся описание распространения волн в рамках геометрической оптики; волновое описание в приближении плоско-слоистой среды, включая методы «борьбы» с возникающей при этом численной неустойчивостью; описание рассеяния волн на неоднородностях плотности в борновском приближении, основанном на предположении о малых (по сравнению с фоновой) флуктуациях плотности. Главный вывод автора из первой главы - необходимость разработки полной модели распространения аврорального хисса от области его генерации до области наблюдения на земле, включающей все указанные выше методы и подходы.

Вторая глава диссертации посвящена описанию регистратора ОНЧ полей, разработанного при участии диссертанта. Здесь же описаны методы определения направления прихода сигнала в точку наблюдения, адаптированные к случайным изменениям во времени параметров аврорального хисса, также разработанные автором диссертации. Большое внимание уделено методу «очистки» аврорального хисса от более мощных по интенсивности атмосфериков и излучений от сети 50 Гц. Автором достигнуты существенные продвижения в методах подавления сигналов атмосфериков по сравнению с известными ранее.

Разработанная автором модель распространения аврального хисса от области генерации до области его наблюдения на земле представлена в **третьей главе**. Сам процесс генерации в диссертация не рассматривается. Предполагается, что волны генерируются пучками достаточно энергичных электронов, и задается модельное распределение квазиэлектростатических

волн по поперечным волновым векторам на заданной высоте. Область с мелкомасштабными неоднородностями считается пространственно ограниченной. В этой области происходит рассеяние квазиэлектростатических свистовых волн, в результате чего часть волн приобретает волновые вектора, лежащие в конусе прохождения. Рассмотрены случаи одной и двух областей с мелкомасштабными неоднородностями плотности.

В четвертой главе диссертации обсуждается вопрос о том, как по наблюдению особенностей аврорального хисса, таких как спектральная интенсивность и поляризация, на разных наземных станциях можно судить об области засветки и, соответственно, получить представление о положении области рассеяния, где присутствуют мелкомасштабные неоднородности плотности. Для этого выполнено моделирование распространения излучения, результаты которого сопоставлены с наблюдениями.

В диссертации имеются и некоторые неточности. Так, после формулы (1.3) резонансная скорость ω/k_{\parallel} названа фазовой скоростью волны, хотя последняя величина не является ни фазовой скоростью волны, ни ее проекцией на внешнее магнитное поле. Условие электростатичности в начале раздела 1.1.2 написано неверно. На стр. 16 встречается выражение «Волны с большим значением горизонтальной относительно геомагнитного поля компоненты волнового вектора ...», которое противоречит последующему правильному рассуждению, из которого следует, что речь идет о горизонтальной составляющей по отношению к земной поверхности. Предыдущая неточность связана, очевидно, с тем, что в диссертации в разных случаях одной и той же буквой z обозначается и вертикаль к поверхности земли и направление внешнего магнитного поля. Следовало бы пояснить, что представляют собой *аналитические сигналы*, отмеченные точкой сверху, и как они связаны с вещественными компонентами поля, обозначенными теми же буквами без точек сверху. Следовало бы более подробно разъяснить, как получается уравнение (1.8) из (1.7). На стр. 33 тензор диэлектрической проницаемости ϵ назван тензором показателя преломления. Величина N_r на стр. 10. является комплексной - какой ее физический смысл?

Сделанные замечания не снижают значимость и оригинальность полученных в работе результатов. Диссертационная работа А. С. Никитенко представляет собой хорошее сочетание экспериментальных исследований, в которых автор играл важнейшую роль, и построение теоретической модели, выполненное также при непосредственном участии автора. Тема диссертации является актуальной, а полученные в ней результаты – оригинальными и

важными, что подтверждается публикациями автора в ведущих российских и международных журналах, включенных в списки ВАК, WOS и Scopus. Каждая глава диссертации содержит изложение основных результатов и выводы, которые представляются достоверными и обоснованными. Диссертационная работа А. С. Никитенко представляет собой завершённое научное исследование, результаты которого уже используются при получении, анализе и интерпретации реальных данных низкочастотных измерений на авроральных наземных станциях Каннуслехто, Ловозеро и Баренцбург.

В целом, диссертация А. С. Никитенко соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 №842 с дополнениями от 21.04.2016 № 335.) Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию.

А. С. Никитенко является ведущим специалистом по исследованию аврорального хисса и, безусловно, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 - «Науки об атмосфере и климате».

Диссертация А.С. Никитенко и отзыв на нее обсуждались на семинаре отдела Физики космической плазмы 13 февраля 2025 г.

Отзыв составили

Зав. лабораторией Теории плазменных процессов в космической среде
ИКИ РАН, доктор физ.-мат. наук

 Д. Р. Шкляр

Старший научный сотрудник ИКИ РАН,
кандидат физ.-мат. наук

 А. А. Чернышов

Заведующий отделом Физики космической плазмы ИКИ РАН,
доктор физ.-мат. наук, член-корр. РАН

 А. А. Петрукович

