

## ОТЗЫВ

официального оппонента **Мальцевой Ольги Алексеевны**, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета, отдел радиофизики и космических исследований, на диссертацию Никитенко Александра Сергеевича «Исследование распространения и рассеяния аврорального хисса на мелкомасштабных неоднородностях по данным наземных наблюдений» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности  
1.6.18 «Науки об атмосфере и климате»

**Актуальность.** Авроральные хиссы являются одним из видов низкочастотных излучений. Они характеризуются спектральной структурой и поляризацией, знание которой необходимо для идентификации моды распространения и направления прихода волн. Частотный диапазон зависит от широты. Несмотря на то, что исследования хисса ведутся многие годы, то, как волны генерируются, распространяются и рассеиваются, остается предметом довольно интенсивных дебатов. Решение этих проблем важно как с теоретической точки зрения (например, изучения взаимодействия волна-частица), так и для практических приложений (например, отслеживания наличия мелкомасштабных неоднородностей, влияющих на точность позиционирования, для уточнения моделей ионосферы).

**Научная новизна.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Первая глава является обзорной по широкому кругу задач, которые должны решаться в диссертации. Творчески учтены результаты наблюдений и их интерпретации, опубликованные в многочисленных статьях. Обоснована важность наземных измерений в силу их преимуществ перед спутниковыми наблюдениями и указано на необходимость регистрации вертикальной компоненты электрического поля  $E_z$ , которая традиционно связана с огромными трудностями или отсутствует. Обзор показал, что назрела

необходимость отказа от использования усредненных значений параметров поля и перехода к суперпозиции множества случайных актов генерации и рассеяния.

Результаты, отражающие новизну, содержатся в главах 2-4 и заключаются в следующем. Вторая глава посвящена регистратору ОНЧ полей. Новизна заключается в разработке метода подавления сигналов атмосфериков и других помех. Другим новым элементом является разработка метода анализа наземных данных на основе распределения плотности потока энергии по азимутальным углам прихода, что позволило учесть случайный характер изменения поля. Измерение направления прихода волн является трудной задачей во многих диапазонах волн. В данной работе предложен специальный прием для определения надежности измерения углов с использованием сигналов передатчиков радионавигационной системы РСДН-20. Описано решение и ряда технических проблем. Среди обнаруженных эффектов можно выделить особый вид коротких (до нескольких минут) дневных высокочастотных (выше 4–6 кГц) дискретных широкополосных излучений. Впоследствии излучения были названы "bird-emissions" ("птички"). Совокупность методов, представленных в этой главе, позволила провести анализ особенностей распространения периодических излучений, зарегистрированных на земной поверхности и на спутнике Van Allen Probe A, а также исследовать связь между регистрацией магнитосферных излучений типа хоры и высыпаний энергичных частиц. Третья глава посвящена разработанной модели распространения аврорального хисса к наземному наблюдателю, которая включает следующие элементы, детально представленные в диссертации: 1) генерация хисса потоками электронов, скорости которых удовлетворяют соотношению резонанса Ландау, 2) распространение пучка квазиэлектростатических волн до высоты рассеяния, 3) рассеяние волн, 4) распространение рассеянных волн к наземному наблюдателю с использованием метода full-wave с учетом случайного характера изменения волнового поля во времени. В качестве новизны

предусмотрена возможность существования нескольких областей с неоднородностями. В четвертой главе на основе 22 событий регистрации аврорального хисса в нескольких точках проведена классификация пространственной структуры поля, а также локализация области с мелкомасштабными неоднородностями электронной концентрации. В качестве параметров структуры использовались горизонтальная компонента напряженности магнитного поля  $H_t$ , индекс круговой поляризации  $P_c$ , отношение вертикальной компоненты электрического поля к горизонтальной компоненте магнитного  $E_z/H_t$  и распределение плотности потока энергии по обратному азимуту вектора Пойнтинга  $p(\varphi)$ . В результате исследования удалось связать эти параметры у земной поверхности с положением и размерами области в ионосфере, занятой мелкомасштабными неоднородностями. Определены условия обеспечения локальности области засветки, а также условия одновременного наблюдения хисса на разных широтах. Важным результатом, отличающимся от классических работ, является экспериментальное доказательство того, что локальность области засветки хисса может быть обеспечена только в случае, если размеры области в ионосфере, занятой неоднородностями, меньше 400 км и рассеяние происходит не выше 800-1200 км (при данном положении приемных пунктов).

Научные положения, отражающие новизну результатов, являются обоснованными и достоверными. Материалы диссертации полностью отражены в публикациях. Личный вклад А.С. Никитенко очевиден.

Несмотря на то, что качество изложения и оформления диссертации хорошее, возникли некоторые вопросы и замечания.

1. Страница 29, подрисуночная подпись к рис. 1.3: названия методов не соответствуют указаниям на рисунке.
2. Страница 52, 6-ая строка снизу: указан рис. 2.6 вместо рис. 2.7.
3. Страница 61, рис. 2.10: не помешала бы шкала значений справа от рисунка.

4.Страница 72, последний абзац: Распределение актов генерации по высоте считалось равномерным. Это предположение или наблюдение?

5.Страница 73, второй абзац сверху: в модели ионосферной плазмы используется дипольная модель геомагнитного поля. Достаточно ли этой модели для исследования распространения волн, например, в высоких широтах?

Третий абзац сверху, на высоте 22000 км концентрация составляла  $10^6$  м<sup>-3</sup>. Из каких соображений выбрано значение  $10^6$  м<sup>-3</sup> и почему высота 22000 км?

6. Страница 88, первый абзац раздела 4.1: необходимо было отметить, какая была геомагнитная обстановка.

7.Страница 95, рис. 4.4: не понятно, что означают цифры 0.0005 на вертикальной оси?

8.Страница 120, ссылка [29]: не указан второй автор; страница 124, ссылка [59]: не указан год; страница 128, ссылка [87]: фамилия автора Jirisek.

9.Замечание по автореферату: не понятно, почему литература в публикациях автора и в общем списке оформлена по-разному.

Эти вопросы и замечания не являются принципиальными и не влияют на положительную оценку результатов диссертации, которые имеют большое научное и прикладное значение.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Основные результаты по теме диссертации изложены в 15 печатных изданиях, 9 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК.

**Заключение.** Таким образом, диссертационная работа А.С. Никитенко «Исследование распространения и рассеяния аврорального хисса на мелкомасштабных неоднородностях по данным наземных наблюдений» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной задачи создания средств и методов верификации результатов наземных измерений ОНЧ полей, методов анализа

данных, а также модели распространения хисса и применения этих инструментов для исследования процессов распространения и рассеяния аврорального хисса на мелкомасштабных неоднородностях по данным наземных наблюдений, имеющей существенное значение для специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».

По своей актуальности, новизне, научно-практической значимости диссертация Никитенко Александра Сергеевича на тему «Исследование распространения и рассеяния аврорального хисса на мелкомасштабных неоднородностях по данным наземных наблюдений» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Никитенко Александр Сергеевич достоин присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».

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

Официальный оппонент:

*Мальцева*

Ведущий научный сотрудник,

доктор физико-математических наук **О.А. Мальцева**

Научно-исследовательского института физики ФГАОУ ВО Южного федерального университета, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 105/42,

Тел. +79185772533, Эл. Почта [omaltseva@sfedu.ru](mailto:omaltseva@sfedu.ru)

Диссертация защищена по специальности: 04.00.22 – Геофизика.

Подпись Мальцевой Ольги Алексеевны **заверяю**

