

ОТЗЫВ УТВЕРЖДАЮ

ВРИО директора

Федерального государственного
бюджетного научного учреждения

«Полярный геофизический институт»
(ПГИ)

д.ф.-м.н.

Б. В. Козелов

Отзыв

ведущей организации

на диссертацию **К. В. Грковича**

«Моделирование характеристик сигнала среднеширотного когерентного эха
по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния»,

представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.03 — радиофизика

Диссертация К. В. Грковича посвящена изучению ряда вопросов, связанных с исследованием радиоотражений коротковолновых и ультракоротковолновых сигналов от неоднородностей ионосферной плазмы (радиоавроры). Актуальность данной тематики обусловлена рядом обстоятельств. Во-первых, пространственный спектр неоднородностей несет информацию о протекающих в ионосфере процессах, поэтому радиозондирование широко используется в ионосферных исследованиях в качестве средства диагностики этих процессов. Во-вторых, неоднородности оказывают существенное влияние на распространение радиоволн и работу радиосредств.

В-третьих, рассеяние на ионосферных неоднородностях характеризуется высокой ракурсной чувствительностью, т.е. сильной зависимостью амплитуды рассеянного сигнала от ориентации падающей и рассеянной волны. Поэтому анализ рассеянного сигнала требует корректного учета диаграммы направленности радара и влияния ряда других факторов, таких как ориентация и размеры области, занятой неоднородностями. Такой анализ требуется проводить для каждой отдельно взятой установки.

В-четвертых, несмотря на длинную (около полувека) историю теоретических и экспериментальных исследований радиоавроры, с развитием техники возникают новые методические возможности и, соответственно, новые проблемы.

В диссертации К. В. Грковича рассмотрены задачи обработки данных радара некогерентного рассеяния с учетом диаграммы направленности радара и тонкой структуры рассеянного сигнала. Получены новые результаты, а именно:

- на основе известной модели, описывающей ракурсные характеристики рассеяния, разработан устойчивый алгоритм определения высоты и толщины слоя рассеивающих неоднородностей по форме профиля мощности рассеянного сигнала как функции радиолокационной дальности;
- разработанный алгоритм апробирован на примере анализа радиоавроры, наблюдавшейся Иркутским радаром некогерентного рассеяния (ИРНР) в средних широтах во время двух геомагнитных бурь;
- проанализирована тонкая структура рассеянного сигнала и сделан вывод о том, что значительная доля мощности сосредоточена в коротких импульсах, близких по длительности к зондирующему импульсу, с доплеровским сдвигом несущей частоты. На этой основе предложен метод повышения пространственного разрешения при радиозондировании.

Структура диссертации соответствует рассмотренным задачам и включает введение, три главы, заключение, список сокращений и список литературы из 288 наименований. Общий объём работы составляет 108 страниц. Во введении кратко обоснована актуальность темы, охарактеризованы новизна, научная и практическая значимость решаемых задач, сформулированы основные результаты и защищаемые положения.

В первой главе представлен обзор литературы, посвященной теоретическим и экспериментальным исследованиям вытянутых вдоль магнитного поля плазменных неоднородностей, вызывающих радиоаврору.

Во второй главе описана разработанная автором методика определения параметров слоя рассеивающих неоднородностей, основанная на известной модели среднеширотной радиоавроры, и приведены результаты ее тестирования. Новизна данной методики заключается в нахождении устойчивого решения обратной задачи восстановления параметров рассеивающей области по профилю рассеянного сигнала с учетом довольно широкой диаграммы направленности радара, что актуально, в частности, для среднеширотного радара ИРНР. Разработанный алгоритм применен для обработки данных наблюдений, полученных на ИРНР во время двух геомагнитных бурь (25.09.1998 и 16.07.2000).

В третьей главе изложены результаты анализа отдельных реализаций рассеянного сигнала с высоким временным разрешением. Предложена и протестирована на данных по одной магнитной буре методика определения в этих реализациях копий зондирующих импульсов с доплеровским сдвигом несущей, сделан вывод о значительной (до 70%) доле мощности, сосредоточенной в этих импульсах. Рассмотрено

на возможность использования такой структуры сигнала для повышения пространственного разрешения радара.

В заключении приведены основные результаты, полученные в ходе подготовки диссертации.

Работа не свободна от недостатков. Наиболее существенные замечания приведены ниже.

Обзор литературы. В работе приведен довольно подробный обзор работ, посвященных природе и характерным параметрам ионосферных неоднородностей. В то же время, тема работы иная — методы исследования этих неоднородностей с помощью радара. Обзор проблем такого исследования и накопленного опыта их решения в диссертации практически отсутствует, хотя именно ему следовало бы уделить основное внимание.

Алгоритм анализа среднеширотных возмущений (глава 2). В этой главе недостает анализа наблюдательных данных. В сущности, анализ сводится к фразе «временной ход параметров слоя с неоднородностями (особенно высоты и толщины слоя) обладает хорошей преемственностью во времени и объясняет ряд особенностей временного хода накопленной мощности». Какова природа полученного временного хода, согласуется ли он с имеющимися представлениями и как именно этот временной ход объясняет временной ход накопленной мощности, читателю не сообщается.

Утверждение о согласии полученных результатов с данными других исследователей обосновано ссылкой на работу по высокоширотной ионосфере, но не обсуждается, насколько правомерно ожидать одинаковых результатов для средних и высоких широт.

Что касается раздела 2.6, то неизвестно, какое отношение к реальности имеет его содержание, поскольку не приведены параметры наложенного возмущения геомагнитного поля.

Формулы (2.6) и (2.7) получены для экваториальной ионосферы. Неочевидна их применимость для анализа авроральных и среднеширотных радиоотражений.

Тонкая структура рассеянного сигнала (глава 3). В изложении результатов этой главы не хватает количественного подхода.

В частности, модель сигнала не формализована, а описана лишь словесно, в то время как для вычисления коэффициентов корреляции, очевидно, нужна математическая модель. Не приведены временные характеристики модельной

последовательности импульсов и не обсуждается влияние этих характеристик на результаты обработки.

Понимание рисунка 3.1 затруднено, поскольку в диссертации нигде не дана длительность зондирующего импульса. Есть лишь утверждение, что соответствующее ей разрешение по дальности составляет 15 км. Вместе с тем, ярко выраженные импульсы на рисунке 3.1 имеют протяженность от 100 до 200 км. Также недостаточно информативным является утверждение о том, что «доплеровский сдвиг частоты, получаемый при обработке данных в рамках модели одиночной гармоника, является случайной величиной с математическим ожиданием, близким к ионно-звуковой скорости» (с.72). Следовало указать значение доплеровского сдвига частоты и соответствующее ему значение скорости, а также привести интервал ожидаемых значений ионно-звуковой скорости и соответствующий интервал высот. Не вполне ясно и то, почему ожидается доплеровский сдвиг, соответствующий именно ионно-звуковой скорости. Ведь неоднородности являются нелинейными образованиями, так что скорость их переноса может сильно (в несколько раз) отличаться от той, что предсказывается линейной теорией плазменных колебаний.

Из текста раздела о повышении пространственного разрешения остается неясным, насколько именно повышается пространственное разрешение за счет применения предложенной методики.

Стилистические неточности. В тексте довольно много таких неточностей, зачастую сильно мешающих пониманию содержания. Сокращенный список наиболее бросающихся в глаза погрешностей приведен в порядке их появления в тексте.

с.4 Понятие «групповых осцилляций» в физике ионосферы и физике плазмы неизвестно. Возможно, автор имел в виду коллективные колебания (волны).

Термин «намагниченная плазма», скорее всего, должен обозначать намагниченную плазму.

Формулировка «обратное рассеяние радиоволн на скрещенных магнитном и электрическом полях» выглядит странно. Имеет ли автор в виду, что любая область, занятая электрическим и магнитным полями, рассеивает радиоволны? Какой механизм рассеяния при этом подразумевается?

с.5 «Многообразие методов исследования охватывает диапазон...»

- с.7 Поле конвекции не может зависеть от мощности рассеянного сигнала, оно определяется геофизическими процессами.
- с.10 Что такое вертикальная спектральная асимметрия??
 «Нелинейное развитие горизонтального распространения. . . »
 «вызывать асимметрию более 20% направленными вверх и вниз компонентами скорости движения электронов относительно ионов связанной с первичными волнами»
- с.11 Что такое «концепция стабилизации угла потока»??
 Под электронной скоростью, видимо, понимается, дрейфовая скорость, но это, вообще говоря, не одно и то же.
- с.12 Смысл выражения «присутствие распределения скорости дрейфа может стабилизировать мелкомасштабные неоднородности» угадывается с трудом. Вероятно, имелось в виду, что стабилизирующий эффект имеет неоднородность скорости дрейфа.
 Фраза «форма спектра мощности неоднородностей концентрации подчиняется закону k^{-3} в горизонтальном направлении, так как скорость электроструи повышается» непонятна. Во-первых, что такое «закон k^{-3} в горизонтальном направлении»? Во-вторых, повышается ли скорость электроструи во времени или в каком-то направлении и как это определяет спектр мощности неоднородностей?
- с.59 Что означает формулировка «вследствие пространственного разрешения ИРНР нет возможности точной калибровки профиля по дальности»? Имеется ли в виду «вследствие недостаточного пространственного разрешения»?
- с.64 Какому изменению высоты соответствует изменение параметра Ψ от 1 до $3/7$?

Рисунок 2.10: не указаны даты наблюдений и начало отсчета времени.

Для величины, отложенной по вертикальной оси на рисунках 2.3–2.5, отсутствует точное определение. Величины, отложенные по горизонтальной оси, также не определены или обозначены иначе, чем в тексте.

Грамматические ошибки. Таковых в тексте большое число (в среднем не менее двух на страницу). Многие из них, впрочем, являются однотипными.

Указанные недостатки не отменяют общей положительной оценки диссертации К. В. Грковича, которая представляет собой законченное научное исследование и со-

держит новые результаты. Содержание диссертации соответствует заявленной специальности 01.04.03 — радиофизика.

Полученные результаты могут представлять интерес для специалистов в области радарного зондирования ионосферы и могут быть использованы в ИСЗФ СО РАН, ААНИИ Росгидромета, ПГИ, ННГУ и других организациях.

Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Основные результаты работы опубликованы в двух статьях в российских рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, и докладывались на конференциях.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что рассматриваемая диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а К. В. Гркович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 — радиофизика.

Диссертация К. В. Грковича обсуждалась на семинаре ПГИ 03.03.2016 г.

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник ПГИ,
доктор физ.-мат. наук, доцент
Андрей Геннадьевич Демехов
184209, г. Апатиты, Академгородок, 26а
телефон: (81555) 79-475
e-mail: andrei@appl.sci-nnov.ru



А. Г. Демехов
14 октября 2016 г.

Диссертация защищена по специальности: 01.04.08 — физика плазмы,
физ.-мат. науки

Подпись А. Г. Демехова удостоверяю.
Ученый секретарь ПГИ, к.ф.-м.н.



К. Г. Орлов