

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Котовой Дарьи Сергеевны  
«ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЛУЧЕВЫХ ТРАЕКТОРИЙ И ПОГЛОЩЕНИЯ  
КОРОТКИХ РАДИОВОЛН В ИОНОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.03 - Радиофизика

В диссертации исследовано влияние параметров ионосферы в спокойные периоды времени и во время геомагнитных бурь на особенности распространения и поглощения декаметровых радиоволн на экваториальных, высокоширотных и кругосветных трассах. Актуальность работы не вызывает сомнений поскольку КВ-диапазон, несмотря на развитие спутниковой радиосвязи, интенсивно используется и будет использоваться для радиосвязи разными службами, включая подразделения министерства обороны.

В работе используется численная модель для расчета радиотрасс коротких радиоволн [Захаров, Черняк, Вестник РГУ им.И.Канта, вып.3, с.36, 2007], разработанная в Балтийском федеральном университете им.И.Канта, Калининград, объединенная с моделью среды, в качестве которой была выбрана численная глобальная самосогласованная модель термосферы и ионосферы ГСМ ТИП, также разработанная в Калининграде (в Западном отделении ИЗМИРАН). Для сравнения используется также международная эмпирическая модель IRI-2012. Модель ГСМ ТИП тестировалась на предмет адекватного описания параметров среды ( $NmF2$ ,  $hmF2$ , TEC) по данным сети ионозондов и приемников GPS. Было показано, что модель ГСМ ТИП более адекватно описывает вариации параметров ионосферы во время бури, чем модель IRI. Это очень важный вывод, который означает, во-первых, что блок "storm" в модели IRI нуждается в усовершенствовании. А, во-вторых, модель ГСМ ТИП можно успешно использовать для исследования особенностей распространения радиоволн во время геомагнитных бурь. Действительно, использование модели ГСМ ТИП в качестве среды позволило выявить новые интересные особенности распространения радиоволн во время геомагнитных возмущений. При этом усовершенствованный модуль модели распространения радиоволн позволяет получать профили электронной концентрации на каждом шаге вычислений, что делает результаты вычислений наглядными и облегчает их интерпретацию. Поэтому работа является интересной и важной как с научной, так и с практической точки зрения.

Основные результаты работы сформулированы четко и получены впервые. Отметим главные из них.

1. Создан согласованный алгоритм на основе модели распространения радиоволн и модели среды ГСМ ТИП для проведения численных экспериментов по распространению коротких радиоволн в ионосфере. Создание такого алгоритма уже само по себе является важным результатом, поскольку закладывает фундамент для дальнейших исследований условий распространения и поглощения радиоволн, а также для построения модельных ионограмм наклонного зондирования.

2. На основе новой модели были проведены численные эксперименты, которые позволили выявить особенности формирования лучевых траекторий и поглощения коротких радиоволн в экваториальной и высокоширотной ионосфере в магнитовозмущенных условиях и сопоставить их с результатами, полученными для спокойных условий, а именно:

а) появление слоя  $F1$  в высокоширотной  $F$  области за счет значительного уменьшения электронной концентрации в  $F2$  слое в восстановительную фазу ионосферной бури и образование  $F3$  слоя в экваториальной ионосфере приводят к появлению каналов распространения радиоволн, в результате чего значительно увеличиваются дальности распространения коротких радиоволн;

б) гребни экваториальной аномалии, расположенные на широтах  $7-8^\circ$  и вариации дополнительного  $F3$  слой в экваториальной ионосфере во время геомагнитных бурь

вливают на форму лучевых траекторий, происходит уменьшение числа уходящих в ионосферу волн;

в) во время геомагнитных бурь чаще наблюдаются случаи образования луча Педерсена. К сожалению это интересное явление на отражено на рисунках в автореферате, в то время как остальные результаты Главы 3 очень наглядно проиллюстрированы.

3. В Главе 4 развитая модель применена для исследования развития дисперсионных искажений при распространении сложных сигналов (ЛЧМ-импульсов) в трехмерно неоднородной анизотропной ионосфере. Использовано динамическое представление каждого ЛЧМ-импульса последовательностью волновых пакетов. Показано, что из-за дисперсии плазмы ионосферы волновые пакеты с разными несущими частотами не только имеют различные групповые скорости, но и распространяются вдоль различных лучевых траекторий, и что рост дисперсионных искажений пакета проявляется в его сильном расплывании.

4. Посредством численных экспериментов были исследованы особенности формирования многоскачковых трасс (в том числе и кругосветного распространения) коротких волн в волноводе Земля-ионосфера в зависимости от выбора геофизических условий. Показано, что формирование траекторий и поглощения коротких радиоволн в ионосфере зависит от координат расположения передатчика на поверхности Земли, времени и направления излучения сигнала. Эти результаты также получены в Главе 4 диссертации и также не проиллюстрированы в автореферате, вероятно поэтому представлены в нем в слишком общем виде. Поэтому о том, насколько важны эти результаты для диагностики ионосферы и каналов КВ связи можно судить только по опубликованным статьям и материалам конференций.

В целом, судя по автореферату, опубликованным статьям и докладам на конференциях, диссертационная работа Котовой Д.С. выполнена на хорошем уровне и содержит новые важные результаты, как чисто научного, так и прикладного характера. Они могут быть полезны при организации работы систем передачи, приема и обработки информации на разных широтах, прогнозирования состояния ионосферных радиоканалов во время геомагнитных возмущений, а также для построения и анализа модельных ионограмм наклонного зондирования. Автореферат полностью отражает содержание работы, за исключением краткости изложения результатов четвертой главы, что отмечено выше. Есть и претензии, связанные со стилистикой автореферата. Например, в Основных положениях, выносимых на защиту, в п.3 написано «Исследовано ...» вместо «Результаты исследования ...». Там же: «Получен луч Педерсена». В автореферате отсутствует заявленный в нем рис.10. Непривычно, не рационально (с ненужными повторами), и не по ГОСТу оформлен список публикаций. Однако эти стилистические недочеты не снижают общего уровня диссертации. Она отвечает требованиям ВАК, и автор Котова Д.С. заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Зав. лабораторией физики и моделирования  
ионосферы ИЗМИРАН

доктор физ.-мат. наук

142190, г.Москва, г.Троицк, Калужское шоссе, 4

тел. 84958519738, e-mail: karp@izmiran.ru

специальность: 25.00.29

Подпись А.Т. Карпачева заверяю

Ученый секретарь ИЗМИРАН

кандидат физ.-мат. наук

