

## ОТЗЫВ

официального оппонента Ременца Георгия Федоровича, доцента, доктора физ.-мат. наук (01.04.03 -Радиофизика), в должности проф. кафедры радиофизики физического факультета ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского государственного университета», на диссертацию Котовой Дарьи Сергеевны на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук на тему “Исследование формирования лучевых траекторий и поглощения коротких радиоволн в ионосфере во время геомагнитных бурь”, (01.04.03 -Радиофизика).

В 1984 году в Ленинграде на XIV Всесоюзной конференции по распространению радиоволн состоялся доклад о сверхдальном распространении декаметровых радиоволн. После доклада член-корреспондент АН СССР Рытов С. М. (автор трудов по геометрической оптике в неоднородных средах), высказал реплику: “Сплошная филология”. Прошли десятки лет, и “сплошная филология” превратилась в количественную науку, о чем свидетельствует обсуждаемая диссертация. Центр тяжести оригинальности работы отражен в словах ее темы: короткие волны в ионосфере ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ.

Научное исследование диссертанта Котовой Д. С. изложено на 140 страницах в 4-х главах с приложениями. Список цитируемой литературы содержит 194 наименования. В работе 52 рисунка.

В главе 1, следующей за Введением, дан обзор литературных данных о распространении коротких волн в ионосфере. Он представляет собой объемное обсуждение (более 100 работ) многих аспектов в теории и эксперименте в указанной научной области. В нем убедительно показана актуальность научной темы диссертации и показано, что сегодня можно и нужно решать трехмерные задачи с учетом сложных динамических процессов в атмосфере, ионосфере и через квазистатические электрические поля с магнитосферой. В обзоре, в частности, обсуждены результаты нескольких научных коллективов РАН и вузов страны, в которых наука о распространении коротких волн развивалась десятилетиями. Однако можно было не стараться обсудить всю литературу, которую знает диссертант для словосочетания “распространение коротких волн”. Сегодня, в эпоху Интернета, информационная функция обзора, которая от него требовалась 20-30 лет назад, отпала. Сегодня обзор более интересен, если он написан “крупными мазками”.

Второй раздел работы (с. 31 – 37) предназначен для физической и математической постановки задачи. В этой главе это сделано косвенным способом: описаны алгоритмы по определению траекторий лучей в трехмерной неоднородной анизотропной среде, которые использовались предшественниками диссертанта. Среда характеризуется глобальной моделью ионосферы (по высоте 80 – 1000 км), разработанной в Западном отделении ИЗМИРАН (модель ГСМ ТИП). Модель позволяет по входным геофизическим параметрам-функциям, которые характеризуют развитие возмущения во времени, находить, в частности, профили электронной концентрации ионосферы в требуемый момент времени (UT). В главе обоснован выбор этой модели среды для анализа особенностей распространения лучей в геофизически возмущенных условиях.

Далее в 3-ей и 4-ой главах работы представлены результаты численных расчетов, выполнен их физический анализ и сформулированы результаты, вынесенные на защиту.

Третья глава посвящена исследованию распространению коротких волн в ионосфере в периоды геомагнитных бурь (геомагнитная буря 1 – 3 мая 2010 г. и 26 – 29 сентября 2011 г.). Схема анализа следующая. С помощью программ комплекса ГСМ ТИП рассчитываются широтно-долготные карты изолиний для критической частоты и высот их отражения. С их помощью выясняются изменения аномальных высокоширотных и приэкваториальных областей электронной концентрации, которые порождены геомагнитной бурей. Далее делается выбор радиотрасс, пересекающих эти аномалии, и выясняется влияние аномалий на распространение радиоволн лучевым методом. Соответствующие особенности в поведении радиолучей констатируются, они сопоставляются с доступными для автора экспериментальными данными и в обобщенном виде выносятся в качестве выводов для защиты.

По первому возмущению (2-3 мая 2010г.) наиболее яркие качественные результаты решения этой многопараметрической задачи следующие: (i) это величины ухода луча из меридианальной плоскости распространения (около 3 градусов) за счет трехмерной неоднородности ионосферы в приэкваториальной области и (ii) образование волноводного канала с несколькими отражениями луча от высокоширотных F1 и F2 слоев на восстановительной фазе геомагнитного возмущения при распространении в меридианальной плоскости .

По второму возмущению (26-27 сентября 2011 г.) яркими особенностями являются: (i) динамика слоя F3, (ii) расширение экваториальной аномалии во время магнитной бури и (iii) сравнение результатов анализа в рамках зарубежной модели ионосферы IRI-12 и отечественной ГСМ ТИП.

В последней 4-ой главе сделано обобщение вышеописанного анализа на случай ЛЧМ сигналов путем линейной суперпозиции исследуемого широкополосного импульса на временную последовательность коротких импульсов с разным частотным заполнением. Каждый из импульсов описывается своим лучом (для обыкновенной или необыкновенной волн). Вычислены и обсуждены групповые скорости и деформация формы импульса (его длительности) при распространении за счет дисперсии. Особый интерес представляют случаи сверхдальнего распространения сигнала благодаря “захвату” луча на некоторое время волноводными каналами, образованными в F1, F2 и F3 ионосферных слоях.

Обращаясь к положениям, вынесенным на защиту, констатирую, что они имеют полное обоснование в главах диссертации. Однако формулировка 1-ого положения (“Построение ... алгоритма проведения численного эксперимента по моделям среды и распространения радиоволн.”) является неудачной. Любая постановка задачи (физическая, математическая, алгоритмическая) не может быть положением, выносимым на защиту. Защищаться могут только результаты, полученные с помощью алгоритма или эксперимента. Это с исчерпывающей полнотой сделано в положениях № 2 – 4.

Перед тем как перейти к заключительной части настоящего отзыва, отметим следующие редакционные замечания по тексту диссертации.

Можно или должно упрекнуть автора обзора в том, что в нем не указан место используемого лучевого метод среди более строгих способов решения волновых уравнений в двумерных случаях (ВКБ – метод, метод эталонного уравнения). - К сожалению, в списке научной литературы не представлены монографии по теме диссертации, ставшими

классическим, а именно: (i) K. G. Budden. Radio Wave Propagation in the Ionosphere. Oxford. 1961. (ii) С. М. Рытов. Геометрическая оптика в неоднородных средах. М. 1980.

Использование словосочетания “модель распространения радиоволн”, местами встречающееся в тексте диссертации, мне представляется неудачным. Объективно есть модель среды, и есть уравнения электродинамики, которые решаются в лучевом приближении. Сверх этого ничего другого с теоретической точки зрения в обсуждаемой работе нет. Поэтому во Введении или в Обзоре можно было сказать, что для краткости мы будем использовать словосочетание “модель РРВ”, подразумевая под этим то-то и то-то.

Редакционные замечания по тексту 1-ой главы следующие (неудачные или непонятные словосочетания):

- “... для построения комплекса прогноза распространения.” – стр. 12;
- при обсуждении моделей ионосферы выделяется группа моделей, которые названы “аналитические модели, основанные на соответствующем разложении по ортогональным функциям” – стр. 12;
- “во многих моделях распространения радиоволн” – стр. 13;
- “физико-математическая модель формирования” – стр. 15;
- “... основная прикладная задача развития моделей ионосферы – возможность прогнозирования распространения радиоволн” – стр. 16;
- “... получено качественное совпадение с прогнозом оптимальной рабочей частоты” – стр. 17;
- “ВЧ радиоканал, который основан на физических принципах распространения” - стр. 17;
- “Основным инструментом исследования является ... система дифференциальных уравнений, неизвестными в которой являются не только координаты и комплексный волновой вектор, но также частота и время” - стр. 18.

По 2-ой главе замечания следующие.

Не определена функция  $\psi$  в системе уравнений (1.2) – стр. 26.

Зачем описывать метод Рунге-Кутты в диссертационной работе, формулы (1.6), (1.7)? – стр. 27.

“Эффект мирового времени” – Что это такое? – стр. 30.

“... адаптация модели среды под модель РРВ ...” – Модель среды не может адаптироваться под лучевое описание распространения волн.

“Представлена численная модель распространения и поглощения коротких радиоволн в трехмерно неоднородной анизотропной ионосфере в приближении геометрической оптики” – Представлена не модель, а результаты численного расчета в приближении ..... для модели среды ....

По 3-ей, 4-ой главам и Приложениям замечания следующие.

- “Вариации  $h_m F_2$  связаны, прежде всего, с вариациями скорости термосферного ветра и состава нейтральной атмосферы ...” – Неубедительно. Требуется ссылка.

- Выражения (4.1) и (4.2) определены через комплексную временную зависимость со знаком “+” ( $\exp(+i \cdot \omega \cdot t)$ ), а в формулах показателя преломления ( $n = n_1 + i \cdot n_2$ ) на стр. 89 и стр. 130 используется временная зависимость с другим знаком. Где гарантии, что это не приводит к путанице в анализе?

- В Приложениях А и Б, представленных на стр. 130 – 139 для удобства читателя и являющихся пересказом результатов других авторов, следовало дать ссылки на литературные источники непосредственно а заголовках этих Приложений.

Диссертационная работ Котовой Д. С., представленная к защите, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертации и содержит все необходимые качества для присвоения диссертанту искомой ученой степени кандидата физ.-мат. наук.

- Научная тема актуальна и оригинальна.
- Исследование во всех главах выполнено на высоком профессиональном уровне с интенсивным привлечением результатов исследований нескольких научных коллективов (при их согласии, содействии и соавторстве) в смежных научных областях.
- Расчетные данные автора сопоставляются им же с экспериментальными литературными данными, где это возможно.
- Новизна научных результатов не вызывает сомнений.
- Апробация результатов в 2- научных рецензируемых журналах из списка ВАК, на семинарах, на конференциях, начиная с региональной и заканчивая всероссийской, отечественных и международных мне представляется исчерпывающей.
- Положения, вынесенные автором на защиту, полностью обоснованы фактическим научным материалом диссертации.
- Содержание автореферата в достаточной мере отражает изложенные в диссертации научные результаты.

Считаю, что соискатель Котова Дарья Сергеевна заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специализации 01.04.03 – Радиофизика.

Проф. Ременец Г. Ф.

*Г. Ф. Ременец*  
16.8.2015

198504, Санкт-Петербург,  
Старый Петергоф,  
ул. Ульяновская, д. 1,  
физический факультет СПбГУ.  
Тел. +7-921-180-98-47  
E-mail: g.remenets@spbu.ru

*Заручил руки Г.Ф. Ременца заверено.*

*Н.И. ...*  
*начальника*  
*... отдел*  
16.10.2015

