

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Переваловой Натальи Петровны на тему «Исследование ионосферных возмущений методом трансionoсферного GPS-зондирования» по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Актуальность темы.

В настоящее время достаточно хорошо изучена фоновая квазислоистая и квазистационарная ионосфера и усилия исследователей направлены на изучение возмущений ионосферы, проявляющиеся в виде вариаций в пространстве и времени ионосферных параметров. Эти исследования **актуальны** не только с точки зрения развития наших представлений об ионосфере, но и для повышения надежности средств связи, навигации и других радиотехнических систем, использующих ионосферное распространение радиоволн. Для изучения ионосферных возмущений весьма важным является возможность наблюдения за достаточно большой областью ионосферы. В настоящее время такая возможность имеется благодаря наличию глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) таких, как GPS и ГЛОНАСС, с помощью которых можно измерять полное электронное содержание (ПЭС) на множестве траекторий наземные наблюдатели – ГНСС спутники. Однако при этом возникают серьезные проблемы оптимизации сети приемников, разработки алгоритмов и программ обработки и хранения информации. Перевалова Н.П. в своей диссертации решает эти проблемы и на базе разработанного ею комплекса методов ГНСС-зондирования исследует ионосферные возмущения различного типа.

Новизна исследования и полученных результатов

Новизна исследования определяется тем, что в работе **впервые** разработана совокупность методов и алгоритмов ГНСС зондирования ионосферы и продемонстрированы ее возможности при исследовании влияния на ионосферу магнитных бурь в авроральной зоне, тропических циклонов и землетрясений различной интенсивности. Это в свою очередь открывает **новые** возможности в исследованиях литосферно-магнитосферно-ионосферно-атмосферных взаимодействий.

Достоверность и обоснованность результатов и положений диссертационной работы

- подтверждается использованием современных методов измерений, выбором новейших программных сред для разработки вычислительных программ;
- обеспечивается репрезентативным объемом проведенных комплексных измерений и обработанных на их основе данных при разных гелио- и геофизических условиях.

Защищаемые положения обоснованы многочисленными измерениями, использованием современных теоретических представлений о процессах в ионосферной плазме, сравнением с результатами проведенного моделирования и результатами, полученными другими авторами.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы; изложена на 286 страницах текста и включает 89 рисунков, 29 таблиц. Список цитируемой литературы представлен на 23 страницах и содержит 243 ссылки.

Во **введении** обоснована актуальность работы; сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **Главе 1** приводится анализ имеющихся сведений об ионосферных возмущениях и методах их исследования. Особое внимание уделено методам трансionoсферного зондирования с помощью ГНСС. Приводятся основные характеристики таких ГНСС, как GPS и ГЛОНАСС. Описываются методы измерения полного электронного содержания, вариации которого в дальнейшем используются в качестве основной характеристики ионосферных возмущений. Отмечается необходимость учета ракурсной зависимости вариации возмущения ПЭС.

В **Главе 2** описывается аппаратно-программный комплекс GLOBDET, который, используя широкую сеть двухчастотных приемников и специально разработанные программы, осуществляет исследование ионосферных возмущений. Описываются особенности ГНСС мониторинга ионосферных возмущений на территории России и Сибири. Здесь же дано описание основных методов, используемых в работе при определении параметров перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) и приводятся результаты моделирования (тестирования) этих методов.

Главы 3-5 посвящены описанию результатов применения разработанных методов.

В **Главе 3** разработанный аппаратно-программный комплекс GLOBDET используется для исследования ионосферных откликов на магнитные бури. Основное внимание здесь уделяется направлению движения авроральных крупномасштабных (КМ) ПИВ, их отклонению от южного направления. Помимо измерения сигналов ГНСС привлекаются данные некогерентного рассеяния и доплеровские измерения.

В **Главе 4** исследуется связь ионосферных возмущений с возмущениями нижележащей атмосферы в виде тропических циклонов. Для этого дополнительно привлекаются

метеорологические данные. В отличие от предыдущих исследований получены статистически более обоснованные данные о связи ионосферных возмущений с достаточно мощными тропическими циклонами.

Глава 5 посвящена исследованию откликов ионосферы на землетрясения. С помощью комплекса GLOBDET удалось определить такие основные характеристики ПИВ, вызванных землетрясениями, как вектор скорости, координаты источника и другие параметры. Показан пороговый характер связи ПИВ с землетрясением: для землетрясений с магнитудой больше 6,5 ПИВ регистрируется более уверенно.

В **заключении** изложены основные результаты, полученные в ходе исследований.

Несмотря на все сильные стороны диссертационной работы, имеется ряд замечаний:

- 1) Пределы в интеграле (1.9) в общем (наклонном) случае являются дальностями до точек входа и выхода луча из ионосферы, а не высотами этих точек, как говорится в диссертации.
- 2) Не везде описываются границы используемых приближений. Это, прежде всего, относится к оценке поправок высокого порядка в уравнении для фазы (2.36), где рассматривается только часть поправки третьего порядка без оценки вклада обычно более значительной поправки второго порядка, связанной с влиянием геомагнитного поля на показатель преломления. Не учтена также часть поправки третьего порядка, связанная с отклонением луча от прямой линии при рефракции в мелкомасштабных неоднородностях, которая увеличивает шум в измерениях и уменьшает их точность.
- 3) Выражение (2.7) для угла места и скорости ПИВ основано на приведенных в работе [52] исследованиях вариаций углов прихода ионосферной радиоволны. Однако вариации этих траекторных характеристик входят в поправки третьего порядка и в силу принципа Ферма не связаны в первом приближении с исследуемыми в настоящей работе вариациями ПЭС. Ракурсная зависимость наблюдаемых эффектов в данном случае обусловлена тем, что после интегрирования вдоль луча продольные вариации электронной плотности не влияют на вариации ПЭС. При этом формула (2.7) в общем случае не может быть использована для определения угла места ПИВ так как она определяет угол место не любого, а того ПИВ, для которого наблюдаемая амплитуда вариаций ПЭС будет максимальная, что и продемонстрировано тестированием в (2.3.4).

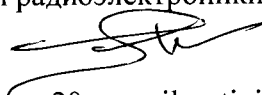
4) В конце стр. 109 вывод «Таким образом, тропосферная задержка не оказывает влияния на вариации ПЭС, рассчитанные по двухчастотным фазовым измерениям» является очевидным, так как тропосферная задержка не зависит от частоты.

5) В начале стр. 110 говорится о возможности «использовать измерения вариаций ПЭС на низких углах как своеобразный усилитель для детектирования слабых возмущений ионосферной плазмы». Однако, во-первых, это усиление наблюдаемых возмущений в силу ракурсного эффекта будет иметь место только для почти вертикально перемещающихся ПИВ. Во-вторых, увеличение ионосферного пути распространения приводит к увеличению случайных фазовых флуктуаций, то есть к увеличению шума в измерениях и росту вероятности срыва. Поэтому исследователи (том числе и автор диссертации) не используют измерения сигналов со спутников с низкими углами возвышения.

Диссертация написана в основном четким ясным языком, но встречаются некоторые шероховатости в изложении. Например, отсутствует определение переменной s в (2.24), (2.25), имеются опечатки вида «свдиго-взбросовый, свдиго-сбросовый типы фокального механизма» на стр. 235.

Однако данные недостатки несущественны для высокой оценки работы. В работе убедительно продемонстрирована эффективность нового перспективного подхода к исследованию ионосферных неоднородностей различного происхождения с использованием ГНСС. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Считаю, что работа Переваловой Натальи Петровны «Исследование ионосферных возмущений методом трансionoсферного GPS-зондирования» полностью соответствует всем требованиям ВАК к докторским диссертациям, а диссертант заслуживает присуждения искомой степени.

Официальный оппонент, д. ф.-м. н., профессор,
профессор кафедры радиофизики и радиоэлектроники
ФГБОУ ВПО ИГУ



М.В. Тинин

664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 20, e-mail: mtinin@api.isu.ru

Подпись М.В. Тинина заверяю

Ученый секретарь ИГУ



Н.Г. Кузьмина