

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Чэнь Чуаньфу

«Модели BDGIM и NeQuickG и сверхширокополосные GNSS сигналы в задаче оценки ионосферных параметров», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Система ионосфера-плазмосфера Земли играет ключевую роль в распространении коротковолновых радиосигналов и оказывает существенное влияние на космическую радиосвязь, радиолокацию, навигацию и работу систем позиционирования глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). На сегодняшний день измерения задержек сигналов ГНСС, таких как ГЛОНАСС, GPS, Galileo и Beidou являются одним из основных методов получения информации состоянии системы ионосфера-плазмосфера. Восстановленные значения полного электронного содержания ионосферы (ПЭС) являются весьма удобным параметром для анализа изменчивости ионосферы, как в глобальном, так и в региональном масштабах. Плотная сеть наземных ГНСС приемников дает возможность осуществлять непрерывные и регулярные наблюдения, необходимые для построения глобальных/региональных карт распределения ПЭС с достаточно высоким временным разрешением. К настоящему моменту существует набор моделей ионосферы, которые могут быть использованы для оперативной оценки интегральных характеристик ионосферы, таких как полное и глобальное электронное содержание. Существует потребность в оценке эффективности воспроизведения этими моделями вариаций ионосферы различных временных масштабов для понимания возможности их практического использования не только для улучшения точности навигации, но и при решении задач радиосвязи и радиолокации, требующих информации о вертикальном распределении ионосферных параметров. Для этого могут быть использованы результаты операционных более простых моделей для их параметризации в модели с более точным описанием вертикальных профилей в различных широтных зонах, таких как IRI, IRI-Plas, ГДМИ. Кроме того в последние годы в качестве навигационных стали использоваться широкополосные сигналы, позволяющие передавать два различных навигационных сообщения на одной несущей частоте. Это обеспечивает лучшую устойчивость к помехам и позволяет более точно определять местоположение. Вследствие этого актуально изучение характеристик сверхширокополосных навигационных сигналов в кодировке AltBOC, их влияния на обеспеченность данными ионосферных наблюдений и разработка на основе этих данных метода оценки абсолютного вертикального ПЭС над отдельной приёмной станцией по

данным одночастотных регистраций фаз и псевдодальностей навигационных сигналов в этой кодировке.

Диссертация Чэнь Чуаньфу посвящена разработке и применению методов оценки интегральных характеристик ионосферы в операционных моделях BDGIM и NeQuickG, а также исследованию шумовых характеристик и точности определения относительного наклонного и абсолютного вертикального ПЭС на основе одночастотных наблюдений сигналов AltBOC.

В диссертации Чэнь Чуаньфу получены **новые интересные и важные результаты**, составляющие новизну и основные положения, выносимые на защиту:

1. На основании сравнения результатов моделей с данными наблюдений за 24 цикл солнечной активности продемонстрировано, что точности описания полного электронного содержания в моделях BDGIM и NeQuickG совпадают, тогда как модель NeQuickG лучше описывает годовую, сезонную и 27-дневную вариацию Глобального Электронного Содержания (ГЭС).

2. Разработан метод экспресс-оценки ГЭС по данным модели NeQuickG, позволивший достигнуть среднеквадратичной ошибки относительно данных CODG не более 0.02 GECu.

3. Использование навигационных сигналов Galileo и Beidou в кодировке AltBOC позволяет оценивать относительное наклонное полное электронное содержание ионосферы по одночастотным данным с тем же уровнем шума, что и при использовании двухчастотных фазовых данных.

4. Метод оценки абсолютного вертикального полного электронного содержания по данным одночастотных фазовых и кодовых наблюдений сигналов Galileo и Beidou в кодировке AltBOC обеспечивает абсолютные отклонения менее 1 TECu от методов использующих двух частотные фазовые наблюдения не менее чем в 95% случаев.

Диссертация Чэнь Чуаньфу несомненно имеет научную и практическую ценность, поскольку указывает на возможность эффективного использования современных операционных моделей и навигационных сигналов в кодировке AltBOC. Полученные автором результаты достаточно широко представлены в российской и международной печати и известны научной общественности благодаря участию автора во Всероссийских и международных конференциях. Важно отметить, что автореферат диссертации написан на довольно хорошем русском научном языке, что несомненно является достижением диссертанта и его научного руководителя.

В качестве замечаний хотелось бы выделить следующие:

1. Одной из ключевых целей работы является оценка возможности использования операционных моделей BDGIM и NeQuickG для дальнейшей параметризации более сложных

моделей, например, таких как IRI-Plas. Было бы полезно продемонстрировать пример работы такой параметризации более сложной ионосферной модели для оценки точности параметров максимума ионосферных слоев в сравнении с данными ионозондов. Кроме того, в дальнейшем важно оценить верхние пределы по солнечной активности применимости регрессионной зависимости ГЭС по данным CODG и модели NeQuickG, которые могут возникнуть из-за эффекта насыщения ГЭС при росте солнечной активности.

2. Согласно подписи к рисунку на Рис. 2 представлены вариации ошибок ПЭС по моделям Klobuchar, BDGIM и NeQuickG. Однако, ошибки ПЭС по моделям Klobuchar и NeQuickG совпали полностью, что не соответствует действительности. Можно предположить, что на Рис. 2 отсутствует информация об ошибках ПЭС по модели Klobuchar.

3. Согласно автореферату в вариациях ошибок определения ПЭС по разным моделям помимо суточного хода наблюдается ярко выраженный сезонный ход с максимумом в равноденствие и минимумом в солнцестояние. Однако, обращает на себя внимание существенная асимметрия весеннего и осеннего равноденствия, которую также стоило указать.

4. В Таб. 2 и в тексте указаны регионы: Китай, Россия, Северная и Южная Америка. Что имеется ввиду под этим понятием: среднее значение в регионе, значение в какой-то выбранной точке или что-то другое?

Несмотря на указанные замечания считаю, что диссертационная работа **Чэнь Чуаньфу** посвящена актуальной теме, выполнена на высоком научном уровне, содержит новые научные результаты. На основании всего вышеизложенного, полагаю, что диссертационная работа **Чэнь Чуаньфу** «Модели BDGIM и NeQuickG и сверхширокополосные GNSS сигналы в задаче оценки ионосферных параметров» удовлетворяет Положению о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

директор КФ ИЗМИРАН,

доктор физ.-мат. наук по специальности

1.6.18 – Науки об атмосфере и климате

Клименко Максим Владимирович

Калининградский Филиал ИЗМИРАН

236017, пр. Победы 41, Калининград

Тел. 8(4012)215606

email: mvklimenko@wdizmiran.ru

Подпись Клименко М.В. заверяю

Ученый секретарь КФ ИЗМИРАН.

кандидат физ.-мат. наук.

Ф.С. Бессараб