

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Губенко В.Н.
на диссертационную работу Хуторова Владислава Евгеньевича
Структурные характеристики мезомасштабных неоднородностей тропосферы по радиоизмерениям сети приемников GPS-ГЛОНАСС,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Актуальность темы

Диссертационная работа Хуторова В.Е. посвящена экспериментальному исследованию тропосферы с помощью систем спутниковой навигации. Развитие спутниковых технологий требует знаний о динамике атмосферных процессов. Поэтому изучение влияния неоднородностей на распространение радиоволн, а также генерации и трансформации неоднородностей является важной и актуальной задачей, имеющей научное и практическое значение в области радиофизики. Несомненный интерес, в этой связи, представляет предложенный автором метод исследования с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), который позволяет изучать и анализировать динамику мезомасштабных процессов в атмосфере Земли.

Научная новизна

Создана методика количественной оценки мезомасштабных неоднородностей в пространственно-разнесенных точках на расстояниях от 800 м до 40 км с помощью радиосигналов навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. Впервые по данным радиозондирования сетью приемников ГНСС получены суточные и сезонные вариации структурных функций тропосферной задержки дециметровых радиоволн.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений.

Во **введении** сформулированы актуальность темы диссертации, цель и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость.

Первая глава содержит анализ современных и классических работ по теме диссертации. Проведенный анализ показал, что неоднородности мезометеорологического масштаба являются наименее изученными из всего спектра неоднородностей в тропосфере Земли и для их исследования требуются системы мониторинга атмосферы с хорошим пространственным (< 1 км) и временным (< 5 минут) разрешением. Обосновывается вывод о том, что радиозондирование атмосферы сигналами ГНСС позволяет проводить исследование тропосферы с высоким временным разрешением.

Во **второй главе** обсуждаются принципы мониторинга атмосферы с помощью радиоизмерений сети приемников GPS, даны спецификации используемой аппаратуры, описан проведенный эксперимент. Автором

получены оценки точности дифференциальных фазовых измерений сети приемников спутниковых навигационных систем. Описывается метод, позволяющий проводить мониторинг тропосферной задержки дециметровых радиоволн в области мезомасштабов. Сравнение горизонтальной структуры тропосферной задержки радиоволн и ее суточной динамики с результатами численного моделирования показало их хорошее соответствие, что является **доказательством достоверности** выбранного метода.

В **третьей главе** представлена разработанная методика определения структурной функции тропосферных задержек дециметровых радиоволн, полученных с помощью дистанционного зондирования тропосферы сигналами ГЛОНАСС и GPS. Математический аппарат структурных функций часто применяется в задачах радиофизики и распространения радиоволн. Автором показано, что применение аппарата структурных функций тропосферной задержки сигналов спутниковых систем позволяет получать надежные сведения о неоднородной структуре тропосферы Земли в области мезомасштабов.

В **четвертой главе** обсуждаются экспериментальные результаты радиомониторинга мезомасштабной динамики тропосферы. Представлены исследования суточных, сезонных и высотных закономерностей мезомасштабных процессов в тропосфере с помощью структурных функций тропосферных задержек и индекса рефракции дециметровых радиоволн. Отмечается существенный рост горизонтальной структурной функции индекса рефракции радиоволн с увеличением масштаба неоднородностей на всех высотных уровнях тропосферы Земли.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Достоверность полученных результатов подтверждается тестированием разработанных алгоритмов, математическим моделированием рассматриваемой задачи и статистической обеспеченностью анализируемых данных, содержащих более чем 2 миллиона измерений. Основные выводы работы подтверждены ее содержанием. Полученные результаты являются достоверными, а выводы и рекомендации вполне обоснованными.

Замечания

По тексту диссертации имеют место опечатки, а также стилистически и грамматически неверно составленные предложения.

1. стр. 5 *«Немаловажным фактором актуальности исследования возможности мониторинга с использованием спутниковых навигационных систем цена таких комплексов, она намного ниже, чем цена сети автоматизированных станций, а временное и пространственное разрешение получаемых полей метеопараметров и атмосферных примесей в перспективе гораздо выше.»*

Пропущено сказуемое: ... систем [является] цена таких комплексов ... Кроме того, предложение сформулировано стилистически неверно и тяжело для восприятия.

2. стр. 7 «... (ежесекундные синхронные фазовые измерения наземными ...»

Опечатка: вместо *измерениями* должно быть “измерения”.

3. стр. 9 «При этом радиозондирование сигналами спутниковых навигационных систем способствует сокращению расходов на получение экспериментальных данных при увеличении временного разрешения.»

Предложение сформулировано стилистически неправильно и тяжело для восприятия.

4. стр. 10 «Список литературы содержит 117 источников.»

Опечатка: приведенный список литературы содержит, на самом деле, 120 источников (кроме того, на стр. 8 автореферата задекларировано также неправильное количество источников – 118).

5. стр. 15, Таблица 1. 1.1 «От минуты до десятков секунд»

Опечатка: вместо *секунд* должно быть “минут”.

6. стр. 18 «Характерные периоды этих волн значительно превышают маятниковые сутки, их длина колеблется в пределах от несколько десятков до несколько тысяч километров, горизонтальные амплитуды при определенных условиях могут достигнуть несколько сот километров.»

Стиль, терминология (*маятниковые сутки, длина [волны?], горизонтальные амплитуды* [что это такое в конкретном случае для волн Россби?]).

Неверные падежи числительных, должно быть: “от нескольких десятков до нескольких тысяч”; “могут достигать нескольких сот километров”.

7. стр. 20 «Число Рейнольдса есть отношение сил инерции, действующих в потоке, к силам вязкости $Re = V_{cp} \times l / \eta$, где V_{cp} - скорость основного течения, η - кинематическая вязкость [73, 88].»

Опечатка, должно быть: “а η – кинематическая вязкость”. Кроме того, не указано что такое l (характерный размер?).

8. стр. 39, формула $I = \frac{\int N_e \cdot dl}{f^2}$

Опечатка: вместо \int в формуле должно быть γ .

9. стр. 64 «Рис. 3.1 Структурная функция зенитной тропосферной задержки за 29.12.09, доверительный показывает стандартное отклонение»

Пропущено слово: *доверительный* [интервал?] *показывает*.

Правильно по смыслу было бы написать: “стандартное отклонение показывает доверительный интервал”.

10 стр. 65 «Рис 3.2 Структурные функции наклонных атмосферных задержек радиосигналов СНС для 20.08.2012, 15:00-16:00 UTC, доверительный показывает стандартное отклонение»

То же самое, что и в пункте 9.

11. стр. 67 «Рис. 3.3 Структурные функции зенитных тропосферных задержек радиосигналов, измеренных 23 августа 2009г. на сети приемных пунктов СНС в интервале масштабов 0.85-35 км доверительный показывает стандартное отклонение»

То же самое, что и в пунктах 9 и 10.

12. стр. 73, подпись в поле рисунка «горизонтальное расстояние»
Опечатка, должно быть: “горизонтальное”.
13. стр. 73 «Рис. 4.1 Структурная функция зенитных тропосферных задержек радиосигналов, измеренных 23 августа 2009г. на сети приемных пунктов СНС в интервале масштабов 0,85-35 км, для 3:00 LT и ее аппроксимация степенной функцией, км доверительный интервал показывает стандартное отклонение.»
Опечатка: функцией, км[?] доверительный.
14. стр. 74. То же самое, что и в пунктах 12 и 13.
15. стр. 75. То же самое, что и в пункте 12.
16. стр. 86. «Рис. 4.13 Структурная функция индекса рефракции дециметровых радиоволн по измерениям сети приемных пунктов СНС в интервале масштабов 0.85-35 км вблизи поверхности Земли и ее аппроксимация степенной функцией, величина ошибки показывает стандартное отклонение.»
Опечатка: вместо величина должно быть: “величину”.
17. стр. 87, 88. То же самое, что и в пункте 16 для подписей к рис. 4.14, 4.15 и 4.16.
18. стр. 102. «19. Khutorov, V. E. About possibility for investigation of horizontal structural functions in troposphere for radio waves refractivity index by use of ground set of GPS–GLONASS receivers [Text] /V. E.Khutorov, A. A. Juravlev, G. M. Teptin//Radiophysics and Quantum Electronics.-2012.-Т. 54, № 01.-Р. 1-8.»
стр. 111. «102. Хуторов, В.Е. О возможности исследования горизонтальных структурных функций коэффициента преломления радиоволн в тропосфере с помощью сети приемных пунктов GPS – ГЛОНАСС/ В.Е.Хуторов, А.А.Журавлев, Г.М.Тептин //Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2012. -Т. 55, № 05.- С. 1-8.»
Опечатки: несовпадение тома и номера русскоязычной статьи 102 на стр. 111 и ее англоязычной версии 19 на стр. 102 (то же касается и автореферата).
19. стр. 118–128. В таблицах 5 , 6 и 7 приложений 2 и 3 не указаны единицы измерения стандартного отклонения (м²?).
20. стр. 125, приложение 3. «Пространственные структурные их доверительные интервалы».
Опечатка, пропущены слова, должно быть: “Пространственные структурные функции и их доверительные интервалы”.
21. стр. 2 автореферата: «Губенко Владимира Николаевич»
Опечатка, должно быть: “Губенко Владимир Николаевич”.

Тем не менее, полагаю, что указанные замечания не снижают научную и практическую ценность проведенного исследования.

Общее заключение

Диссертационная работа Хуторова В.Е. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Полученные результаты

могут быть применены для прогноза распространения радиоволн и при разработке моделей мезомасштабных процессов в тропосфере Земли. Полагаю, что разработанные методы и алгоритмы представляют интерес при решении задач дистанционного зондирования атмосферы.

Ценность работы автора заключается в том, что в диссертации разработана методика количественной оценки интенсивности пространственных и временных мезомасштабных вариаций тропосферной задержки и индекса рефракции дециметровых радиоволн. Разработан алгоритм для обработки данных зондирования атмосферы и созданы программы на его основе. С помощью указанной методики получены суточные и сезонные вариации временных структурных функций тропосферной задержки дециметровых радиоволн, а также высотные зависимости горизонтальной структурной функции индекса рефракции.

Результаты диссертационной работы Хуторова В.Е. опубликованы в научных журналах, из которых 5 рекомендованы ВАК и 5 индексируются в базе SCOPUS, они докладывались на 16 российских и международных конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации и наглядно отражает основные результаты.

Диссертационная работа «Структурные характеристики мезомасштабных неоднородностей тропосферы по радиоизмерениям сети приемников GPS-ГЛОНАСС» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.03 – «Радиофизика», а ее автор – Хуторов В.Е., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент, ведущий научный сотрудник ФИРЭ

им. В.А. Котельникова РАН

к.ф.-м.н., доцент

"26" ноября 2014 г.

Губенко В.Н.

Подпись к.ф.-м.н. Губенко В.Н. удостоверяю:

Заместитель директора ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,

д.т.н.

"26" ноября 2014 г.



Каевицер В.И.

Данные об оппоненте:

ФИО: Губенко Владимир Николаевич

Ученая степень: кандидат физико-математических наук

Специальность по которой защищена диссертация:

01.04.03 – «Радиофизика»

Рабочий почтовый адрес: 141190, Московская обл., г. Фрязино, пл. акад.

Б.А. Введенского, 1

Рабочий телефон: 8(496)5652555

Адрес электронной почты: vngubenko@gmail.com

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки Институт радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН (Фрязинский филиал)

Ученое звание: доцент по специальности «Радиофизика»

Должность: ведущий научный сотрудник

Название структурного подразделения:

лаборатория «Распространение радиоволн в космосе»