

Отзыв

научного консультанта на диссертационную работу Жбанкова Геннадия Анатольевича «Разработка радиофизических методов диагностики ионосферы для определения условий распространения радиоволн в околоземном пространстве», представленную на соискание им ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Использование космического пространства развивается огромными темпами. Ионосфера является частью космического пространства, влияющей на распространение радиоволн различных диапазонов и определяющей функционирование систем связи, навигации, позиционирования, пеленгации, поэтому получение знаний о поведении параметров ионосферы в процессе ее диагностики является **актуальной** задачей. Состояние ионосферы отличается большой пространственной и временной неоднородностью, особенно во время возмущений. Экстремально большие и экстремально низкие значения ионосферных параметров, связанные с крупномасштабными неоднородностями, могут привести и приводят к неприятным последствиям в работе наземной и спутниковой аппаратуры, но еще большие неприятности доставляют мелкомасштабные неоднородности, приводя к федингу в каналах связи, многолучевости, F-рассеянию сигналов, но именно диагностика мелкомасштабных неоднородностей является наиболее трудной задачей. Выявление роли мелкомасштабных неоднородностей и потребность в их диагностике привели к необходимости модификации процедур обработки данных наземного ионозонда, а с появлением возможности постановки ионозонда на спутник необходимо было разработать соответствующее математическое обеспечение для работы в условиях космической среды. Это определило задачи диссертации.

Целью диссертационного исследования являлась разработка методов диагностики ионосферы с учетом ее неоднородностей на основе экспериментальных данных с использованием методов численного моделирования, коррекции ионосферных моделей в соответствии с текущим состоянием ионосферы, использования полного электронного содержания для прогноза состояния ионосферы.

Решение поставленных задач привело к разработке новой технологии обработки результатов ионосферных экспериментов как для наземного вертикального зондирования (математическое обеспечение для диназонда-21 и автоматизированный комплекс «Viewer_DPS4» для стандартных ионозондов), так и спутникового транзионосферного зондирования (создание

математического обеспечения для обработки и интерпретации трансionoсферных ионограмм).

В результате выполненной работы получены следующие **научные результаты**:

- разработан алгоритм и реализована программа решения лучевых уравнений вблизи особой точки в магнитоактивной среде в методе характеристик, позволяющие качественно описывать поведение радиоволн КВ-диапазона в ионосфере;

- разработаны новые методы восстановления высотных профилей электронной концентрации в ионосфере по данным наземных ионозондов вертикального зондирования и спутниковых ионозондов;

- разработан алгоритм и соответствующее программное обеспечение автоматизированного расчета F-рассеяния по данным ионозонда DPS-4;

- разработана процедура интерпретации сложных ионограмм ИСЗ, связанных с неоднородностями ионосферной плазмы, на основе созданного программного комплекса траекторных расчетов и реконструкции пространственного распределения электронной концентрации;

- разработаны алгоритм и программа коррекции глобальной модели ионосферы по экспериментальным данным, полученным при проведении различных типов ионосферных исследований, основанные на использовании «коэффициента коррекции» основных ионосферных параметров;

- принцип трансionoсферного зондирования применен к диагностике ионосферы и численному моделированию результатов использования ионозонда в комплексном эксперименте «Ионосфера-М»;

- разработан способ определения состояния ионосферы и ее параметров по данным полного электронного содержания ТЕС.

Достоверность и обоснованность результатов обеспечиваются строгой математической постановкой решаемых задач, адекватностью используемых моделей среды распространения реальной ионосфере, согласованностью полученных результатов с экспериментальными данными, а также совпадением полученных результатов в предельных случаях с результатами, полученными другими авторами.

Научная новизна результатов заключается в следующем:

- разработана методика расчета траекторий КВ-радиоволн в ионосфере методом характеристик, позволяющая учесть особенность поведения крутопадающих волн в окрестности особой точки;

- разработаны новые методы восстановления высотных профилей электронной концентрации в ионосфере по данным наземных ионозондов вертикального зондирования;

- разработано оригинальное математическое обеспечение для ионозонда DINASONDE-21, отличающееся возможностью восстановления трехмерного Nh-профиля;
- создан инструмент автоматизированной обработки и анализа данных ионозонда DPS-4, позволяющий исследовать эффект F-рассеяния с определением параметров мелкомасштабных неоднородностей;
- разработана методика моделирования сложных спутниковых ионограмм, отличающаяся учетом неоднородностей;
- методы определения параметров ионосферы при трансionoсферном зондировании, отличающиеся использованием различных ионозондов;
- в использовании полного электронного содержания для определения критических и максимальных применимых частот на КВ-трассах через расчет эмпирической толщины ионосферы $t(\text{obs})$, более эффективном по сравнению с использованием t различных моделей.

Практическая значимость заключается в разработке:

- методики расчета траекторий КВ-радиоволн в ионосфере методом характеристик в окрестности особой точки с помощью поверхности Поверлейна;
- новых методов восстановления высотных профилей электронной концентрации в ионосфере по данным наземных ионозондов вертикального зондирования и спутниковых ионозондов;
- принципа обработки и анализа данных ионозонда DPS-4 «Viewer_DPS4» для автоматизированного расчета F-рассеяния, позволяющего проводить детальный анализ отраженных эхо-сигналов;
- принципов интерпретации сложных спутниковых ионограмм со следами неоднородных структур;
- коррекции глобальной модели ионосферы по экспериментальным данным различных типов ионосферных измерений введением «коэффициента коррекции» для основных ионосферных параметров;
- принципа использования полного электронного содержания для оценки состояния ионосферы.

Результаты исследования использованы при выполнении следующих государственных заданий и проектов:

- в отчетах научно-исследовательского института физики ЮФУ:
отчет о научно-исследовательской работе «Принципы обеспечения ионосферной информацией наземных и космических систем нового поколения» (заключительный) БЧ№3.9696.2017/8.9, Ростов-на-Дону, 2019, 90 с.

отчет о научно-исследовательской работе «Исследование отклика околоземной плазмы на геомагнитные возмущения методами спутникового и наземного радиозондирования» (итоговый) 2.5836.2011, Ростов-на-Дону, 2013, 48 с.

отчет о научно-исследовательской работе «Исследование эффектов внутренних гравитационных волн в ионосфере» (заключительный), Ростов-на-Дону, 2011, 27 с.

– в отчете по научно-исследовательской работе «Эврика-2016-ЮФУ»,

– в отчете по НИР АО «РТИС ВКО» «Разработка методологии обеспечения необходимой гелиогеофизической информацией средств системы загоризонтного обнаружения и адаптации средств в сложных гелиогеофизических условиях, в том числе при работе в области высоких широт»,

– в программном комплексе ионозондов системы Dynasonde-21.

В настоящее время технологические решения, предложенные в диссертации, используются при эксплуатации ионозонда ТОМИОН, в работе космической группировки «Ионосфера-М», запущенной в 2024-2025 с 4-мя спутниковыми ионозондами.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.3.4. Радиофизика, а именно пункту 5 – «Разработка научных основ и принципов активной и пассивной дистанционной диагностики окружающей среды, основанных на современных методах решения обратных задач. Создание систем дистанционного мониторинга гео-, гидросферы, ионосферы, магнитосферы и атмосферы. Радиоастрономические исследования ближнего и дальнего космического пространства». Диссертационная работа посвящена развитию теории и практики мониторинга ионосферы, включающему разработку методов ее диагностики. Область диссертационного исследования включает также разработку методик использования результатов радиозондирования.

Личный вклад автора включал проведение теоретического рассмотрения, создание алгоритмов и программных комплексов, при использовании которых выполнено численное моделирование с обработкой экспериментальных данных и анализом результатов, обсуждение совместных публикаций.

Публикации по теме диссертации включают 1 монографию, 95 работ, из них 54 – в изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS, 14 работ – в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ. Были представлены 52 доклада на всероссийских и международных конференциях. Получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Жбанкова Г.А. является законченным научным исследованием, вносящим заметный вклад в развитие таких направлений, как радиофизика, дистанционный мониторинг и исследование ближнего космического пространства. Автором создана новая технология обработки результатов в наземном (Dynasonde-21) и спутниковом (трансионосферном) зондировании. Разработанный математический аппарат позволяет интерпретировать ионограммы любой сложности и определять характеристики ионосферных неоднородностей любых масштабов. Диссертация Жбанкова Геннадия Анатольевича «Разработка радиофизических методов диагностики ионосферы для определения условий распространения радиоволн в околоземном пространстве» соответствует требованиям п.п. 2.1-2.10 Положения «о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет» и рекомендуется к защите на соискание автором ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Учитывая актуальность, новизну, научно-практическую значимость, считаю, что Жбанков Геннадий Анатольевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4 Радиофизика.

«15» мая 2026 г. Мальцева Мальцева Ольга Алексеевна,

доктор физико-математических наук
(спец.: 04.00.22 – Геофизика), доцент,

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,

Научно-исследовательский институт физики,
отдел радиофизики и космических исследований,
ведущий научный сотрудник.

(344090, г. Ростов-на-Дону,
пр. Стачки, 194, НИИ физики);

тел. +79185772533,
email: oamaltseva@sfedu.ru)

