

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию **Медведева Андрея Всеволодовича** "Развитие методов и аппаратных средств радиофизических исследований верхней атмосферы Земли на иркутском радаре некогерентного рассеяния», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Тема диссертации Медведева А. В. определена возрастающими техническими и методологическими требованиями к современным средствам радиофизической диагностики верхней атмосферы и околоземного космического пространства. Работа развивает актуальное научное направление, связанное с экспериментальными исследованиями ионосферы и ближнего космоса методом некогерентного рассеяния. В диссертации решена задача глубокой модернизации уникального и единственного в России Иркутского радара некогерентного рассеяния, развиты существующие радиофизические методы исследования ионосферной плазмы и разработаны новые оригинальные технологии, существенно расширяющие сферу применения этой установки. Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологии и техники РФ. Актуальность и практическая значимость работы Медведева А.В. убедительно подтверждена использованием результатов диссертации в ряде федеральных целевых программ, работах в рамках гособоронзаказа.

На защиту автором выносятся следующие положения:

- Структура и принципы функционирования цифрового, многоканального, управляющего и приемно-регистрирующего комплекса, расширяющего диагностические возможности ИРНР в исследованиях пространственно-неоднородной структуры ионосферы, в радиоастрономических наблюдениях и при проведении радиолокационных измерений характеристик космических объектов.
- Новый метод определения скорости дрейфа ионосферной плазмы, позволяющий учесть конструктивные особенности ИРНР и повысить точность измерений.
- Новый комплексный автоматизированный метод исследования трехмерной пространственно-временной структуры и полного вектора скорости распространения ПИВ на основе совместного анализа данных радара ИР и других радиофизических средств зондирования ионосферы.
- Новый в методе ИР вид радиоастрономических измерений, заключающийся в непрерывном сканировании участка неба в пассивном режиме с регистрацией излучения космических радиоисточников, позволяющий изучать структуру и динамику процессов в солнечной короне по наблюдениям ее радиоизлучения в метровом диапазоне, определять

параметры неоднородностей ионосферной плазмы и существенно повышающий коэффициент использования уникальной установки – ИРНР без значительных энергетических затрат.

Автором внимательно проанализированы существующие в практике метода некогерентного рассеяния современные решения расширения диагностических возможностей действующих радаров подобного типа. На основании этого анализа и с учетом конструктивных особенностей Иркутского радара ИР автором предложена стратегия развития радара. Решение проблемы расширения диагностических возможностей ИРНР, предложенное автором, имеет комплексный характер и сочетает вопросы технической модернизации приемного, регистрирующего, обрабатывающего и управляющего оборудования ИРНР с применением новых оригинальных методик радиофизической диагностики верхней атмосферы Земли.

С технической стороны, поставленные цели автором решены путем создания на ИРНР цифрового, многоканального управляющий и приемно-регистрирующего комплекса, обладающего следующими характеристиками:

- Расширенный до 70 ДБ линейный динамический диапазон сквозного приемного тракта ИРНР;
- Полная сквозная когерентность приемо-передающего и многоканальность приемного трактов;
- Программно-управляемые цифровые устройства синтеза частот позволяющие осуществлять быстрое сканирование ДН ИРНР по заданному алгоритму;
- Быстродействующие цифровые устройства обработки сигналов в сочетании и цифровые устройства синтеза частот;
- Сохранение на электронных носителях полного объема первичной информации зондирования для обеспечения гибкого выбора адекватных меняющимся задачам и природным условиям способов вторичной обработки.

Технические характеристики нового комплекса соответствуют уровню развития аналоговых и цифровых измерительных систем и отвечают современным требованиям к установкам подобного типа.

С использованием новых диагностических возможностей ИРНР разработаны оригинальные методы радиофизической диагностики верхней атмосферы Земли, позволяющие улучшить точность измерения базовых параметров околоземной плазмы, расширить набор измеряемых параметров среды, повысить коэффициент использования этой уникальной установки.

Разработанный автором метод определения скорости дрейфа ионосферной плазмы с учетом индивидуальных конструктивных особенностей ИРНР не имеет аналогов в практике метода некогерентного рассеяния и существенно повышает точность определения этой важной динамической характеристики ионосферы. Суть метода заключается в использовании для аппроксимации спектра сигналов некогерентного рассеяния двумя функциями Гаусса. Это позволило автору найти метод аналитического определения одновременно и величины сдвига спектра и

коэффициента его асимметрии, который ранее являлся причиной неустойчивости определения первого параметра.

Новый в практике метода НР вид измерений – пассивные наблюдения в режиме непрерывного сканирования неба дает возможность использовать ИРНР как эффективный радиоастрономический инструмент. Он позволяет исследовать динамику и степень пространственной неоднородности солнечного радиоизлучения в диапазоне длин волн около 2 метров, на основе регистрации мерцаний радиосигналов от дискретных космических источников определять параметры мелкомасштабных ионосферных неоднородностей. Кроме того, этот вид наблюдений не требует больших энергетических затрат и, следовательно, может существенно увеличить время использования уникального оборудования ИРНР. Достоверность результатов наблюдения в этом режиме подтверждена сравнением быстрых временных вариаций потока солнечного радиоизлучения, полученных на ИРНР с данными крупных специализированных радиогелиографов в Кулгаре (Австралия) и Нанси (Франция).

Особое место в работе Медведева А.В. занимает исследование волновых возмущений в верхней атмосфере. Этому исследованию посвящена пятая глава диссертации. Автором сделан подробный обзор явления и методов его наблюдения. Показано, что для понимания физической природы волновых возмущений необходимо иметь представление о трехмерной пространственно – временной структуре перемещающихся неоднородностей.

Предложенный автором метод исследования пространственно-временной структуры и характеристик распространения перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) позволяет реконструировать и изучать трехмерную картину волновых возмущений, измерять полный вектор скорости ПИВ. Метод основан на совместном анализе высотных профилей электронной концентрации, полученных на различных направлениях. В методе используются два наклонных луча радара НР и вертикальный профиль ионизации, полученный с помощью ионозонда. Для описания картины ионосферных возмущения автором используется приближение плоского волнового фронта, что вполне обосновано на малых базах. Определение относительных задержек распространения волновых возмущений осуществляется с использованием кросскорреляционного анализа. Искомые трехмерные характеристики распространения волновых возмущений (скорость, азимут и угол наклона волнового фронта к горизонту) находятся из системы линейных уравнений. Оригинальный метод автоматического выделения волновых возмущений на основе анализа высотных профилей вариаций электронной концентрации позволил автору впервые проанализировать трехмерные характеристики волновых возмущений на длинном ряде непрерывных данных. Автором сделаны обоснованные заключения о физической природе возмущений с периодами от 1 до 6 часов. Установлено, что большинство наблюдаемых волновых возмущений атмосфере имеют природу внутренних гравитационных волн (ВГВ). Большинство наблюдаемых волн распространяются из средней и

нижней атмосферы. Часть ВГВ, которая показывает направление распространения сверху вниз, связана, вероятно, с отражением первичных волн на высотах выше области наблюдения в результате взаимодействия волн с переменным по высоте ветровым потоком.

Отметим некоторые недостатки работы.

1. Следовало бы дать оценку точностей определения высотных профилей параметров ВГВ предлагаемыми автором различными способами, в частности, кросскорреляционным и фазоразностным способами.
2. В работе проведено определение высотных профилей параметров ВГВ кросскорреляционным и фазоразностным способами. Установлено, что ни один способ выделения возмущений не устраняет полностью вариативность динамических характеристик ПИВ по высоте. Было выдвинуто предположение, что подобная немонотонная по высоте изменчивость характеристик движения ПИВ является следствием интерференции волн от различных источников.

На наш взгляд, немонотонная по высоте изменчивость параметров движения ПИВ обусловлена в основном заметным изменением температуры и других параметров атмосферы в диапазоне высот 200-400км. Однако существенное различие в определении высотных профилей параметров ВГВ кросскорреляционным и фазоразностным способами требует пояснений.

3. Автор, несмотря на обширный экспериментальный материал, не осуществил проверку анизотропии характеристик ПИВ в направлениях распространения вдоль и поперек геомагнитного поля.

Отмеченные недостатки не влияют на основные результаты диссертации и не снижают ценности работы.

В целом, автором убедительно показано, что в результате проведенных исследований и глубокой модернизации ИРНР его диагностические возможности существенно расширены. Можно утверждать, что в результате настоящей работы Иркутский радар некогерентного рассеяния преобразован в новый многофункциональный исследовательский комплекс, круг исследовательских и прикладных задач, которого весьма велик.

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 25 научных работах, опубликованных Медведевым Андреем Всеволодовичем, в том числе, в 21 публикации в изданиях «Перечня ведущих периодических изданий ВАК» и цитируемых на научных платформах Web of Science и Scopus. Результаты диссертации неоднократно докладывались на российских и международных конференциях.

Работа написана последовательно, грамотно и аккуратно. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация Медведева А.В. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Работа базируется на обширном экспериментальном материале, достаточном объеме результатов математического моделирования, хорошо иллюстрирована. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Считаю, что диссертационная работа «Развитие методов и аппаратных средств радиофизических исследований верхней атмосферы Земли на иркутском радаре некогерентного рассеяния» отвечает требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Медведев Андрей Всеволодович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой физики атмосферы,
физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
доктор физ.-мат. наук, профессор,

11.06.2014 В.Е. Куницын

119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, ФГБОУ ВПО
«Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,
физический факультет.

Телефон: +7(495) 939-38-06

E - mail : kunitsyn77@mail.ru

И.о. декана физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
доктор физ.-мат. наук, профессор,

А.В. Козарь



11.06.2014