

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**.

1. Актуальность темы

Диссертация Медведева А. В. посвящена одному из современных разделов радиофизики, изучающему динамические процессы в ионосфере Земли и космическом пространстве путем совершенствования методик и аппаратных средств уникальной и единственной в России станции некогерентного рассеяния. Работа развивает актуальное научное направление, связанное с радиофизическими исследованиями верхней атмосферы Земли. Она демонстрирует результаты глубокой модернизации РЛС «Днепр» на основе новых научных знаний, полученных, в том числе, диссертантом, которые привели к повышению потенциала радара, как средства обороны, а также к созданию новых возможностей радара, как аппаратно-программного комплекса диагностики околоземной плазмы.

В основе диссертации лежит весьма сложная работа по развитию дистанционного радиофизического метода диагностики нейтральной и ионизированных компонент атмосферы на высотах 90-1000 км, созданию новых методик измерений и проведению с более высокой точностью многолетних экспериментальных исследований физических свойств верхней атмосферы (ионосферы), позволивших получить оригинальные результаты: о скорости дрейфа плазмы; пространственно-временной структуре и спектре скоростей перемещающихся ионосферных возмущений; о характеристиках внутренних гравитационных волн (ВГВ), о высотных профилях вариаций электронной концентрации; о динамике и пространственной структуре солнечного излучения с длиной волны около 2 метров; о параметрах мелкомасштабных неоднородностей в ионосфере. Эти результаты составили научную и технологическую базу для развития диагностических возможностей ИРНР.

Актуальность темы определяется возрастающими требованиями к метрологическим возможностям инструментов, использующих эффект некогерентного рассеяния зондирующего радиоизлучения, что является одной из задач радиофизики и входит в одно из приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ. О важности этих исследований свидетельствуют современные крупные международные научные программы «GLOBAL CHANGE», «SPACE WEATHER», «SCOSTEP», «CEDAR». Актуальность и важность для науки и практики выполненных диссертантом

работ подтверждается использованием их результатов в ряде крупных федеральных программ и поддержкой исследований со стороны РФФИ.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автором на защиту выносятся:

2.1. 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.

2.2. Новый метод определения скорости дрейфа ионосферной плазмы, позволяющий учесть конструктивные особенности ИРНР и повысить точность измерений.

2.3. 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.

2.4. 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.

Для обоснования этих положений автором изучены и критически проанализированы известные достижения и теоретические положения работ Farley, Gray, Woodman, Lehtinen, Haggstorm, Suny, Рогожкина, Nyrgen, Пуляева, Потехина, Лебедева, Swartz, Шпынева, Holtkoehler, Berngardt, Благовещенской, Derek, Robinson, Кушнарёва, в которых рассматриваются проблемы: разработки оригинальных для метода ИР методик измерений с учетом распределенных по объему рассеивающих неоднородностей, порождающего стохастический характер принимаемого сигнала, при том, что его уровень близок или меньше уровня шума (космического излучения). Кроме того, им проанализировано множество работ других авторов, затрагивающих рассматриваемые в диссертации вопросы. Список использованной литературы содержит 296 наименований.

Автором корректно анализируются: проблема синтеза сложных зондирующих сигналов и проблема его фильтрации для выделения (с применения новых методик обработки) регулярных характеристик процессов, протекающих в ионосферной плазме. Это позволило автору сформулировать существующее противоречие, определяющее проблемную ситуацию, а также корректно поставить задачи диссертационного

исследования. В частности, достаточно подробный анализ состояния проблемы использования радара для исследования верхней атмосферы позволил выделить четыре ключевых направления совершенствования радара «Днепр»: обеспечение быстрого сканирования по углам и обеспечение интерференционных измерений; программное изменение формы зондирующего сигнала; увеличение каналов приема и расширение динамического диапазона приемника; применение цифровой обработки с увеличением точности и устойчивости алгоритмов при обеспечении повышенного быстродействия. Следует отметить, что аналогичная модернизация требуется для повышения потенциала радара, как средства противоракетной обороны. Успешная реализация новых научных знаний и результатов анализа в новом приемно-регистрирующем комплексе радара, описанном во второй и третьей главах диссертации, полностью подтверждает обоснованность ее первого научного положения.

Новый метод определения скорости дрейфа ионосферной плазмы обосновывается собственным опытом определения доплеровских спектров на ИРНР и результатами других авторов, полученных на среднеширотных радарах НР. Суть метода заключается в использовании для описания доплеровских спектров функций Гаусса. Это позволило для малой асимметрии спектра аналитическим методом выделить параметр доплеровского смещения и параметр его асимметрии, что прежде являлось причиной малой устойчивости оценки первого параметра. Обоснованы границы применимости метода по диапазону значений оцениваемых параметров.

Автором использованы проверенные на практике асимптотические методы теории рассеяния для описания распространения зондирующего сигнала в неоднородной ионосферной плазме. Обоснованность этих приближений для целей, поставленных в диссертации, не вызывает сомнений. В частности, теоретическое обоснование метода исследования трехмерной пространственно-временной структуры области рассеяния базируется на подходах, рассмотренных в работах Лебедева. В основе метода лежит радиолокационное уравнение при задании в явном виде комплексной функции для диаграммы направленности антенны, вид которой обоснован проведенными автором измерениями излучения от источника «Лебедь – А». Это позволило для гауссовой функции ДН установить с высокой точностью параметры данной функции и снизить ошибку измерений.

Новый в методе НР вид радиоастрономических измерений основан на пассивном приеме космического радиоизлучения, являющегося помехой при активном зондировании, но позволяющий решать ряд важных научных задач радиоастрономии и физики ионосферы. В работе дается детальное обоснование алгоритмов (пошаговое) определения параметров исследуемых процессов и объектов. Новые возможности метода включают: возможность исследования на частотах 143-163 МГц суточной динамики мощности космического шума; суточной динамики его коэффициента корреляции; параметров мерцания дискретных радиоастрономических источников;

радиоизлучения Солнца и особенно радиовсплески II - типа. Появившаяся возможность работы антенны в двухлучевом режиме с разницей в 15-20 градусов позволяет исследовать градиенты плазмы и ее волновые возмущения.

Результаты исследования ВГВ обоснованы тщательным анализом современного состояния исследований в данной области знаний: теории их возбуждения и распространения; методов измерений параметров эффекта. Это позволило в достаточной степени обосновать новые возможности использования для этих целей ИРНР. Методики обработки экспериментальных данных обоснованы теоретически и верифицированы в результате прямых физических экспериментов с использованием иного метода, получившего название метода GPS -мониторинга. При этом автором решена сложная задача анализа длинных рядов экспериментальных данных ИРНР. Интерпретация результатов основывается на применении численного моделирования процессов распространения ВГВ с использованием обоснованных математических моделей. В результате экспериментально было установлено, что наблюдаемые в Иркутске ВГВ вызваны распространением из нижних уровней атмосферы. Выявлены ВГВ, отраженные от верхних уровней, где имеет место ветровой сдвиг. Погрешности измерений обоснованы применением подходов математической статистики.

Реализация результатов диссертации осуществлена при модернизации радара раннего обнаружения, что свидетельствует об их практической значимости.

3. Оценка новизны и достоверности результатов

Автором убедительно показано, что в результате проведенных исследований и глубокой модернизации ИРНР его метрологические возможности существенно повышены. По сути можно утверждать, что в результате создан новый технически сложный прецизионный инструмент мирового уровня для многопараметрической диагностики эффектов в верхней атмосфере Земли.

В работе создан новый метод определения скорости дрейфа ионосферной плазмы, отличающийся учетом индивидуальных конструктивных особенностей ИРНР, применением новых научных знаний.

Предложен и реализован новый комплексный метод исследования трехмерной пространственно-временной структуры и полного вектора скорости распространения ПИВ, отличающийся применением совместного анализа данных радара ИР и других радиофизических средств зондирования ионосферы. Предложен и реализован метод автоматического выделения волновых возмущений, который отличается применением для анализа вариаций высотных профилей электронной концентрации, полученных одновременно методом ИР и другими радиофизическими методами.

Впервые для региона с наибольшим смещением геофизических координат относительно магнитных, а также с высоким уровнем сейсмической активности автором получены основные характеристики ионосферных волновых возмущений с периодами 1-6 часов, а также данные статистического анализа суточных и сезонных особенностей вариаций их параметров.

Впервые в методе некогерентного рассеяния предложен и реализован способ пассивного зондирования космического радиоизлучения в диапазоне частот 143-163 МГц, отличающийся использованием модернизированного ИРНР в режиме радиоастрономического инструмента. Это позволило получить ряд оригинальных данных о фоновом космическом радиоизлучении, о мерцаниях, о квазипериодических вариациях солнечного излучения.

Подводя итоги, можно сказать, что полученные диссертантом результаты являются новыми научными знаниями в области радиофизики.

На мой взгляд, автор на всех стадиях работы корректно использует методы теории распространения радиоволн в неоднородной ионосфере, а также методы математического анализа и статистической радиофизики. Достоверность экспериментальных результатов автора обеспечивается их верификацией при использовании иных современных средств проведения исследований. Достоверность результатов исследований также подтверждается их широкой апробацией на многочисленных (26-ти) Международных, Всероссийских научно-технических симпозиумах и конференциях, посвященных вопросам распространения радиоволн, радиозондирования, геофизики и физики атмосферы. По теме диссертации опубликовано 25 статей из них 21 в журналах из перечня ВАК. 18 работ процитированы в научных базах WOS, SCOPUS. Все это позволяет утверждать, что научная общественность знакома с результатами диссертационного исследования Медведева А.В.

4. Замечания по диссертационной работе

Диссертация Медведева А.В., как любая крупная работа, не свободна от недостатков.

1. В работе не достаточно рассмотрен вопрос о методе синтеза сложного зондирующего сигнала, обеспечивающего уровень корреляционных шумов ниже 70дБ.

2. Не обсуждается возможность использования при высокостабильном цифровом синтезе зондирующего сигнала более точного метода CORDIC.

3. Не представлено обсуждение вопроса о влиянии на результаты измерений отличия аппроксимирующих функций от функции Гаусса для

доплеровского спектра и диаграммы направленности антенны (параграфы 4.1 и 4.2).

4. Требуется уточнить проводилась ли проверка на стохастичность остаточной компоненты при фильтрации суточного хода электронной концентрации для выявления в нем периодической компоненты (параграф 5.4.2), а также использовалась ли при расчетах расстояний по земле (баз) в методе разнесенного приема методика Винсенти, обеспечивающей повышенную точность.

5. В методике определения электронной концентрации использовалось приближение однократного рассеяния для слабых неоднородностей плазмы, однако в тексте диссертации отсутствуют условия применимости этих выражений.

6. Надписи на рис. 5.12 не читаемы, а различия в результатах двух методов (НР и ВЗ) содержат только качественный анализ. На рис. 5.13, 5.15, 5.18, 5.19 не указаны доверительные интервалы.

7. Теоретический анализ эффектов, положенных в основу разработанных методов многопараметрического зондирования, на мой взгляд, изложены излишне конспективно.

Отмеченные недостатки, однако, не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации и не снижают качества работы.

Заключение

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Проведенные диссертантом исследования открывают новые возможности: в дистанционном зондировании верхней атмосферы, изучении динамических процессов в ионосфере Земли; в использовании полученных знаний для повышения эффективности систем раннего обнаружения ракетных пусков и анализа объектов в космическом пространстве Земли.

Результаты работы можно квалифицировать как новое крупное достижение в развитии перспективного научного направления, связанного с созданием новых радиофизических методов и технологий прецизионной многопараметрической диагностики верхней атмосферы Земли.

Диссертация написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Основные результаты опубликованы в научных журналах из Перечня ВАК.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Считаю, что диссертационная работа «Развитие методов и аппаратных средств радиофизических исследований верхней атмосферы Земли на иркутском радаре некогерентного рассеяния» отвечает критериям ВАК РФ, а ее автор Медведев Андрей Всеволодович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Официальный оппонент,
проректор по научной работе
и инновационной деятельности
Поволжского государственного
технологического университета,
Адрес: 424000 г. Йошкар-Ола,
пл. Ленина 3
Телефон: +78362455240
E-mail: IvanovDV@volgatch.net
доктор физико-математических наук


Д.В. Иванов

Подпись официального оппонента
Заверяю:
Ученый секретарь университета
19 мая 2014 г.


И.Б. Вишнякова

ЗАВЕРЯЮ:
Начальник управления кадров и
информационной безопасности
Поволжского государственного
технологического университета

