

ОТЗЫВ

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.

Исследования верхней атмосферы Земли методом некогерентного рассеяния - одно из наиболее перспективных направлений современной радиофизики. В России теория и практика метода некогерентного рассеяния в настоящее время развивается группой ученых Института солнечно-земной физики СО РАН под научным руководством члена-корреспондента РАН А.П. Потехина. Единственный в России Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) является уникальной научной установкой, получаемые с его помощью данные важны для понимания физики процессов в системе Солнце - Земля, для разработки эффективных моделей состояния ионосферы, прогноза неблагоприятных явлений в околоземном космическом пространстве и многих других задач фундаментального и прикладного характера. Развитие потенциала метода некогерентного рассеяния, совершенствование технических возможностей ИРНР является, несомненно, важной и актуальной научной задачей.

Диссертация А.В. Медведева посвящена развитию диагностических возможностей ИРНР. Работа является комплексным исследованием. Постановка проблемы, сочетание современных технических и методологических подходов к ее решению последовательно раскрываются автором в пяти главах.

Свое исследование автор начинает с обзора современного состояния исследований физики верхней атмосферы (ВА) Земли и околоземного космического пространства (ОКП), уделяя особое внимание радиофизическим средствам и методам диагностики этих сред. Автор убедительно показывает, что среди наземных средств наблюдения ВА радары некогерентного рассеяния (НР) играют особую роль, так как позволяют получать с высоким временным разрешением, пространственные распределения многих параметров ионосферной плазмы по всей толще ионосферы. В настоящее время в мире существует лишь 11 обсерваторий, оснащенных такими радарными. Технология исследования ближнего космоса с помощью метода НР сложна, она требует применения мощных излучающих систем, современных методов обработки сигналов. Для развития метода НР необходимо прилагать серьезные усилия в теории рассеяния радиоволн и методологии эксперимента. Очень хорошо, что в России развивается это перспективное научное направление и существует коллектив ученых, работы которого авторитетны в мировой научной среде.

ИРНР уникален для России и занимает важное географическое положение в мировой сети радаров. Он расположен в регионе, имеющем ряд особенностей, важных для понимания процессов в ВА. В восточно-азиатском долготном секторе имеет место наибольшее смещение географических координат относительно геомагнитных и формирование основных крупномасштабных структур ионосферы происходит на фоне самых низких по земному шару значений электронной концентрации. Регион характеризуется высоким уровнем сейсмической активности в сочетании со сложным характером рельефа местности это обуславливает повышенный уровень возмущенности верхней атмосферы. Кроме того, в непосредственной близости от ИРНР расположены важные инфраструктурные гражданские и оборонные объекты, на функционирование которых прямое воздействие оказывают неблагоприятные гелио-геофизические факторы. Вывод автора о том, что развитие диагностических возможностей ИРНР необходимо с точки зрения решения фундаментальных проблемы физики атмосферы и потребностей практической деятельности в регионе, представляется вполне оправданным. Комплексное техническое и методологическое решение этой проблемы вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение ее обороноспособности.

В первой главе, опираясь на мировой опыт эксплуатации радаров НР и учитывая современные технические и методологические решения, принимаемые при масштабной модернизации этих установок, автор определяет основные недостатки существующих

измерительных и управляющих систем ИРНР, ограничивающих его потенциал. Автор делает обоснованный вывод о том, что решение проблемы расширения диагностических возможностей ИРНР должно носить комплексный характер и сочетать глубокую модернизацию приемного, регистрирующего, обрабатывающего и управляющего оборудования ИРНР, позволяющую наиболее эффективно использовать конструктивные особенности радара, с разработкой новых информативных методов радиофизической диагностики верхней атмосферы Земли. Во второй главе автор предлагает необходимую структуру и описывает состав нового управляющего приемно-регистрирующего комплекса (УПРК) для ИРНР. Следует отметить, что многие технические показатели, заложенные в новом УПРК, до сих пор не достижимы для большинства радаров ИР мировой сети. В первую очередь это относится к таким характеристикам как скорость и диапазон сканирования, динамический диапазон приемного тракта и объем сохраняемой информации зондирования. Новизна полученных автором результатов обусловлена уникальностью Иркутского РНР. В мире не существует РНР, использующих антенную систему, подобную Иркутскому РНР. Поэтому разрабатываемая аппаратура или методики наблюдений содержат элементы новизны по определению.

Третью главу автор посвящает описанию взаимодействия все структурных элементов нового УПРК ИРНР в различных режимах работы. Автор последовательно описывает, каким образом новые технические характеристики приемной регистрирующей и управляющей аппаратуры отражаются на операционных возможностях радара, и как операционные возможности, в свою очередь, расширяют сферу исследований, проводимых на ИРНР. Автор показывает, что с внедрением нового УПРК функциональные возможности ИРНР резко возросли, и набор различных режимов работы радара существенно расширился. Наряду с традиционным для радаров ИР режимом наблюдения параметров ионосферной плазмы на ИРНР появились режимы слежения за космическими объектами, радиоастрономические наблюдения и др. Следует отметить, что благодаря проведенной автором работе по глубокой модернизации, Иркутский радар стал, вероятно, самым многофункциональным из инструментов подобного типа в мире.

В четвертой главе автором приведены описания новых радиофизических методов диагностики ВА и контроля ОКП, разработанных с использованием расширенных возможностей нового УПРК ИРНР.

Иркутский радар является единственной установкой в мире, на которой реконструкции профиля концентрации электронов осуществляется методом фарадеевских замираний. В отличие от традиционных процедур, этот метод не нуждается во внешней калибровке, но требует применения специальных сигналов для обеспечения одновременно высокого пространственного и временного разрешения. Эта проблема была решена автором путем внедрения на Иркутском радаре нового УПРК, способного формировать сигналы с заданным видом модуляции, регистрировать полную форму принятого сигнала, проводить «отложенную» согласованную обработку сигналов. Итогом этой работы стала автоматизированная процедура определения высотного профиля концентрации электронов в реальном времени, устойчиво работающая в диапазоне значений $MmP2$ от $2 \cdot 10$ эл/см до $2 \cdot 10$ эл/см.

В этой же главе автор описывает новый метод определения скорости дрейфа ионосферной плазмы, учитывающий конструктивные особенности ИРНР. Скорость плазмы традиционно один из самых трудных для диагностики параметров в методе ИР. Трудность эта связана с необходимостью определения малого доплеровского сдвига (типично до 100 Гц) всего спектра сигналов обратного рассеяния, который имеет характерную ширину около 5 кГц. Статистический (шумовой) характер этого спектра только осложняет задачу. Автором предложен оригинальный способ определения доплеровского сдвига в комбинации с параметром несдвиговой асимметрии спектра. Метод основан на углубленном анализе корреляционных свойств сигналов обратного рассеяния. Новый метод, по сравнению с известными, позволяет понизить дисперсию определения скорости дрейфа ионосферной плазмы в несколько раз.

Серьезным достижением являются результаты, полученные на ИРНР при наблюдении космических объектов (КО). В результате проведенной модернизации, на ИРНР появилась возможность реализовать специальный программный модуль, в рутинном порядке и в реальном масштабе времени осуществляющий селекцию данных зондирования с отбором реализаций, в которых присутствует сигнал от КО, и сохранением их в отдельном файле. Статистика наблюдаемых пролетов КО во время стандартных ионосферных измерений ИРНР достаточно представительна. Автор показывает, что от 2 до 5 % всех наблюдаемых в этом режиме КО не представлены в известных каталогах. Это факт с одной стороны характеризует высокий

диагностический потенциал ИРНР. а с другой стороны позволяет говорить об ИРНР как об потенциальном эффективном средстве в составе национальной системы контроля космического пространства.

В совершенно новом качестве предстает ИРНР и во время использования его в новом режиме радиоастрономических наблюдений. Такие наблюдения одновременно существенно повышают коэффициент использования дорогостоящей установки, поскольку позволяют использовать радар в экономичном пассивном режиме, и позволяют получать важные характеристики ОКП. Автор показывает, что широкий динамический диапазон и большая площадь апертуры антенны радара позволяют использовать ИРНР для наблюдения уровня солнечной активности в радиодиапазоне. Кроме того, наблюдение мерцаний космических радиоисточников, проходящих через сектор сканирования ИРНР, может служить дополнительным средством контроля степени развития мелкомасштабных неоднородностей в ионосфере.

Новые возможности ИРНР позволяет с высокой точностью определять пространственные градиенты ионосферных параметров. Это качество радара использовано автором при исследованиях волнообразных ионосферных возмущений. В пятой главе автором последовательно излагается новый метод определения трехмерного вектора скорости перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) и новый автоматизированный метод выделения волновых возмущений. Сочетание этих методов позволило автору впервые получить столь представительную статистику полного набора характеристик распространения волновых возмущений в ВА. Масштабное исследование ПИВ позволило автору сделать важные заключения о физической природе ПИВ с периодами 16 часов. Автором установлено, что большинство волновых возмущений в ВА имеют природу внутренних гравитационных волн (ВГВ). Большинство источников наблюдаемых ВГВ находится в нижней и средней атмосфере. Та часть ВГВ, которая показывает направление распространения сверху вниз, по обоснованному заключению автора, связана с отражением первичных волн на высотах выше области наблюдения. Новые сведения об волновых возмущениях в ВА, полученные автором представляют несомненную научную ценность.

В целом следует отметить, что диссертация Медведева А.В. демонстрирует удачный пример комплексного подхода к решению крупной научной задачи. Достоинством такого подхода является последовательное и логически обоснованное построение современной научной установки от технических решений до методов исследования.

Практическая ценность работы Медведева А.В. состоит в расширении диагностических возможностей уникальной установки - Иркутского радара некогерентного рассеяния для проведения фундаментальных научных исследований и выполнению договорных работ в интересах различных отечественных и международных организаций и ведомств. Результаты работы были использованы при выполнении ряда крупных федеральных и ведомственных программ.

Разработанные в диссертации методы и полученные экспериментальные данные могут быть использованы при разработке прогностических моделей ионосферы, для решения прикладных задач радиолокации и космической навигации, в целях диагностики состояния космического пространства и контроля «космического мусора», а также в учебных курсах по радиофизике и физике волновых явлений.

Технические и методологические решения, полученные в рамках диссертации несомненно будут востребованы при создании новых наземных средств диагностики атмосферы в рамках проекта Национального гелио-геофизического центра РАН.

По работе могут быть сделаны следующие замечания:

1. В описании разработанного автором метода определения скорости дрейфа плазмы не представлено достаточного обоснования выбора именно функции Гаусса для аппроксимации спектра рассеяния. Представляется, что в этом качестве может быть использован достаточно широкий класс аналитических функций.

2. Из описания процедуры измерения индекса мерцаний остается неясным существуют ли какие-либо отличия таких измерений, проводимых на ИРНР от аналогичных измерений на других известных установках.

3. Не достаточно внимания уделено автором сравнению результатов восстановления высотных профилей электронной концентрации на ИРНР и на ионозонде. Понятно, что два разных метода могут давать различные, в том числе систематически отличающиеся, результаты. Такие отличия практически неизбежны на высотах выше максимума ионизации и они могут приводить к систематическим ошибкам в определении характеристик волновых возмущений.

Вышеперечисленные замечания не отменяют ценности диссертации. Личный вклад автора в результаты, вынесенные на защиту, представляется весьма весомым. Полученные автором результаты достоверны, выводы обоснованы. Работа базируется на достаточном количестве материалов экспериментального и методического характера. Диссертация написана грамотно и аккуратно. По каждой главе сделаны четкие выводы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

В целом, диссертация Медведева Андрея Всеволодовича представляет собой законченное и самостоятельное исследование, в котором решена важная научная проблема в области экспериментальной радиофизики – расширение диагностических возможностей уникальной научной установки Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР), с целью получения новых физических характеристик верхней атмосферы Земли и преобразование ИРНР в многофункциональный комплекс исследования околоземного космического пространства.

Диссертация отвечает всем критериям ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Медведев Андрей Всеволодович, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 — «Радиофизика».

Официальный оппонент, профессор кафедры волновых процессов и систем управления МФТИ, доктор физико-математических наук, Лауреат государственной премии СССР, Заслуженный деятель науки РФ



Лукин Д.С.

Домашний адрес: 127237, Москва, ул. 800 лет Москвы, дом 26, к.1, кв. 17
Служебный телефон: 8 495 408 51 44
E-mail: luknet1@yandex.ru

ЗАВЕРЯЮ
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УЧЕНОГО СОВЕТА МФТИ
Ю. И. Скалько

