

УТВЕРЖДАЮ



Директор ИЗМИРАН  
докт. физ.-мат. наук

Кузнецов В.Д.

9 сентября 2018 г.

## Отзыв

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В. Пушкова Российской Академии наук  
на диссертационную работу Подлесного Алексея Витальевича  
«Развитие диагностических возможностей ионозондов с использованием  
непрерывных ЛЧМ-сигналов»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.03 – радиофизика

Ионизированная область верхней атмосферы – ионосфера представляет собой естественную лабораторию по исследованию свойств низкотемпературной плазмы, главным образом, средствами радиозондирования со сканированием частоты применяемого сигнала. Фундаментальное свойство ионосферы Земли отражать радиоволны, в частности, декаметрового частотного диапазона дает возможность использовать ее для задач радиокommunikаций. Использование сложной динамической среды для передачи сообщений основано на применении определенного адаптационного механизма, учитывающего текущее состояние ионизированной части атмосферы. Исторически, наиболее удобным и информационно надежным инструментом диагностики высотной зависимости электронной плотности ионосферной плазмы является ионозонд вертикального радиозондирования ионосферы. Разрешающая способность методов радиозондирования, т.е. способность выделить и разделить способы переноса энергии (моды) электромагнитной волны из одной точки пространства в другую, определяется структурой используемого сигнала и, соответственно, от него и зависит качество регистрации результатов зондирования - ионограммы. В настоящее время в практике зондирования ионосферы используется три вида сигналов: амплитудно-модулированный (простой или гладкий радиоимпульс), фазо-кодо-манипулированный (ФКМ) и линейно-частотно-модулированный (ЛЧМ). Последние два вида из этих сигналов считаются сложными и

широкополосными и их применение дает определенные преимущества в конструировании и эксплуатации ионозондов.

Представленная работа посвящена радиофизическим аспектам в разработке инструмента диагностики состояния ионосферы на основе ЛЧМ-сигнала в новой форме его использования – с непрерывно работающими передающим и приемным устройствами в однопозиционном режиме, и анализу качественно новой получаемой информации, в частности, на длительном временном интервале в учащенном темпе съема ионограмм. Таким образом не вызывает сомнений актуальность темы представленной диссертации Подлесного А.В. как для целей исследования фундаментальных свойств ионосферной плазмы, так и для ряда прикладных задач ионосферного распространения радиоволн.

**Диссертационная работа** объемом 103 страницы состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы. По материалам диссертации опубликовано 14 публикаций, включая 7 работ в рецензируемых журналах из перечня ВАК, получен патент о государственной регистрации изобретения. Список цитируемой литературы содержит 103 наименования, работа включает 41 рисунок.

**Во введении** обоснована актуальность исследования на основе достаточно большого обзора литературных источников, обозначены цели и задачи работы, сформулированы научная новизна и научно-практическая ценность результатов. Перечислены основные научные положения, выносимые на защиту. Также приведено краткое содержание выполненных исследований.

**Первая глава** содержит анализ возможностей по улучшению аппаратных характеристик ионозонда вертикального радиозондирования ионосферы на основе ЛЧМ-сигнала с акцентом на реализацию новой области его применения – обеспечение функционирования в условиях одного пункта размещения передающей и приемной частей комплекса. Особое внимание уделяется применению современных средств обработки сигналов для увеличения динамического диапазона приемника и фильтрации неизбежного влияния излучаемого волнового поля. Результатом является реализованный экземпляр диагностического комплекса способный работать на малой мощности излучения с одноминутным интервалом регистрации ионограмм. Сопоставление получаемых данных зондирования с данными международной станции DPS-4 (Иркутск) показывает их идентичность.

**Вторая глава** посвящена теоретическому анализу и программной реализации предложенного автором метода промежуточной обработки сигнальной информации -корректирующего фильтра, позволяющего более корректно выделить

из принятого сигнала ионосферную часть (передаточную функцию ионосферного радиоканала) и, таким образом, повысить точность измерения группового запаздывания в ионосферной плазме. Также несомненным достижением автора является способ фильтрации сосредоточенных узкополосных помех, что значительно улучшает качество ионограмм. В заключении представлен пример регистрируемых данных на обсерватории ИСЗФ (Торы), в котором отражены базовые аспекты ионограммы - поляризационное разделение магнитоионных компонент и частотная зависимость группового пути и амплитуд приходящих мод.

**Третья глава** посвящена анализу данных радиозондирования ионосферы в комплексной постановке пространственно разнесенных средств диагностики, включающей, как элемент общей сети, и разработанную установку “Ионозонд - МС”. Первое, что нужно отметить – ионозонд в учащенном режиме проработал более 2-х лет, что говорит о его общей функциональной надежности. Получен огромный объем информации, который, по-видимому, будет анализироваться еще очень долгое время. Выделим наиболее интересные результаты:

а) получена достаточно достоверная оценка вероятности появления дополнительных следов (треков) на ионограммах вертикального радиозондирования, порождаемых внутренними волновыми процессами в ионосферной плазме, и она оказалась достаточно высокой – может достигать ~ 30% в дневное локальное время, и

б) экспериментально зарегистрировано геометрооптическое отражение от полярной стенки главного ионосферного провала при малых углах падения в частотном разрезе. Т.е. подтвержден результат, полученный в 80-х годах на уникальном радиотелескопе декаметрового диапазона УТР-2 (Харьков) на фиксированных частотах. В то же время, также интересный результат регистрации, по-видимому, глобального возмущения ионосферной плазмы поверхностной волной Рэлея от очага землетрясения нужно рассматривать, по меньшей мере, как дискуссионный. Сложно представить, что крайне небольшие возмущения земной поверхности могут приводить к столь сильным возмущениям ионосферы.

Таким образом, в своей диссертационной работе автор последовательно анализирует аспекты поставленной задачи - разработка инструмента на новом принципе реализации свойств базового сигнала и анализ качественно новых результатов его применения. Научная значимость, обоснованность результатов и личное участие автора в научном процессе не вызывает сомнений, Хорошим признаком работы является участие в анализе данных исследователей из других организаций и совместные публикации. Автореферат достоверно отражает содержание диссертации.

Имеются некоторые замечания и рекомендации по работе:

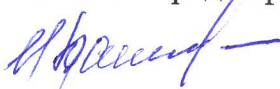
1. В диссертации нужно было бы обсудить и слабые места ионозонда с непрерывным ЛЧМ-сигналом – это сужение динамического диапазона приемника для работы с информационным сигналом. Это обстоятельство, по-видимому, отразилось на приеме сфокусированного и дефокусированного зондирующих сигналов при наличии мощного волнового возмущения – рис.3.3 (глава 3), когда слабый сигнал пропадает на фоне сильного. Также, по-видимому, могут возникнуть сложности в функционировании ионозонда в пунктах с высоким уровнем фоновых электромагнитных шумов.

В целом, диссертационная работа Подлесного А.В. соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Основные результаты работы достаточно полно обоснованы и опубликованы в реферируемых научных изданиях и могут быть использованы в организациях, занимающихся исследованиями ионосферы и ионосферного распространения радиоволн: Институте прикладной геофизики (ИПГ), ИЗМИРАН, ААНИИ и др.

Автор работы, Подлесный Алексей Витальевич, вполне заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиоп физика.

Научный доклад по материалам диссертации заслушан и обсужден на объединенном семинаре ИЗМИРАН “Физика ионосферы и распространение радиоволн” 21 мая 2018 года.

Отзыв составил ведущий научный сотрудник  
ФГБУН Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН (ИЗМИРАН),  
доктор физико.-математических. наук,  
специальность 01.04.03 – радиоп физика



И.В. Крашенинников

108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4, ИЗМИРАН  
Тел. +7(495)8510279 e-mail: krash@izmiran.ru.

Подпись Игоря Васильевича Крашенинникова заверяю  
Ученый секретарь ИЗМИРАН,  
кандидат физико-математических наук



А.И. Рез

“ 11 ” сентября 2018 г.