ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.034.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТА СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №_____

решение диссертационного совета от 30 октября 2018г. № 12

О присуждении Подлесному Алексею Витальевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Развитие диагностических возможностей ионозондов с использованием непрерывных ЛЧМ-сигналов» по специальности «01.04.03 – радиофизика» принята к защите 25 июля 2018г., протокол № 8, диссертационным советом Д 003.034.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 126-а, а/я 291, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ № 105нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель Подлесный Алексей Витальевич, 1986 года рождения, в 2007 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет», в 2010 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН, в настоящее время работает в должности научного сотрудника в Лаборатории исследования динамических процессов в ионосфере в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Ордена Трудового Красного Знамени Институте солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН.

Диссертация выполнена в Отделе физики околоземного космического пространства Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН.

Научный руководитель – Куркин Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, заведующий Отделом физики околоземного космического пространства Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН.

Официальные оппоненты:

1. Вертоградов Геннадий Георгиевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры радиофизики физического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»,

2. Тинин Михаил Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института прикладной физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет», (НИИПФ ФГБОУ ВПО «ИГУ»),

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН, г. Москва, г.о. Троицк), в своем положительном отзыве, составленном доктором физико-математических наук, зав. лабораторией моделирования волновых полей в ионосфере ИЗМИРАН, Крашенинниковым Игорем Васильевичем, и утверждённом директором ИЗМИРАН Кузнецовым Владимиром Дмитриевичем, доктором физико-математических наук, указала, что:

- Актуальность диссертационной работы Подлесного А.В. как для целей исследования фундаментальных свойств ионосферной плазмы, так и для ряда прикладных задач ионосферного распространения радиоволн сомнений не вызывает. Новизна диссертационной работы заключается 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.

- 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. Основные результаты работы достаточно полно обоснованы и опубликованы в реферируемых научных изданиях.

- Результаты диссертации могут быть использованы ИСЗФ СО РАН, ИЗМИРАН, ИПГ, ААНИИ и во многих других отечественных и зарубежных организациях, связанных с исследованиями ионосферы и ионосферного распространения радиоволн.

Соискатель имеет 14 работ по теме диссертации, 7 – в российских журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертации, 6 – в журналах, включенных в базы Web of Science и Scopus и один патент на изобретение.

Наиболее важными являются работы:

Подлесный, А.В. Реализация метода восстановления передаточной функции ионосферного радиоканала по результатам зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом / А.В. Подлесный, В.П. Лебедев, Н.В. Ильин, В.В. Хахинов // Электромагнитные волны и электронные системы. — 2014. — Т. 19, N 1. — С. 063–070.

Куркин, В.И. Морфологические особенности признаков перемещающихся ионосферных неоднородностей по данным слабонаклонного зондирования ионосферы / В.И. Куркин, О.А. Ларюнин, А.В. Подлесный, М.Д. Пежемская, Л.В. Чистякова // Оптика атмосферы и океана. — 2014а. — Т. 27, N 2 (301). — С. 158–163.

Куркин, В.И. Исследование квазипериодических ионосферных возмущений с помощью амплитудных карт / В.И. Куркин, О.А. Ларюнин, А.В. Подлесный, Я.М. Черняк, Д.С. Лукин, А.С. Крюковский, Д.В. Растягаев // Нелинейный мир. — 2014б. — Т. 12, N 12. — С. 12–19.

Полех, Н.М. Ионосферные эффекты магнитосферных и термосферных возмущений 17–19 марта 2015 г. / Н.М. Полех, Н.А. Золотухина, Е.Б. Романова, С.Н. Пономарчук, В.И. Куркин, А.В. Подлесный // Геомагнетизм и аэрономия. — 2016. — Т. 56, N 5. — С. 557–571.

Иванова, В.А. Отклик характеристик распространения КВ-радиоволн на вариации рентгеновского излучения / В.А. Иванова, Н.М. Полех, В.И. Куркин, Л.В. Чистякова, М.Д. Пежемская, И.Г. Брынько, А.И. Орлов, А.В. Подлесный, З.Ф. Думбрава, И.Н. Поддельский // Современные проблемы

дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2013. — Т. 10, N 4. — С. 154–160.

Ларюнин, О.А. Использование данных двух близко расположенных ионозондов при диагностике перемещающихся ионосферных возмущений / О.А. Ларюнин, В.И. Куркин, А.В. Подлесный // Электромагнитные волны и электронные системы. — 2014. — Т. 19, N 1. — С. 10–17.

Крюковский, А.С. Численное моделирование амплитудных карт для скорректированной модели IRI-2012 с плавными возмущениями ионосферы / А.С. Крюковский, В.И. Куркин, О.А. Ларюнин, Д.С. Лукин, А.В. Подлесный, Д.В. Растягаев, Я.М. Черняк // Радиотехника и электроника. — 2016. — Т. 61, N 8. — С. 794–799.

Куркин, В.И. Способ обеспечения электромагнитной совместимости однопозиционного ионозонда / В.И. Куркин, Г.И. Литовкин, А.В. Медведев, А.И. Орлов, А.В. Подлесный // Патент на изобретение RUS 2411540 от 04.05.2009.

Podlesny, A.V. Vertical ionosphere sounding using continuous signals with linear frequency modulation / A.V. Podlesny, V.I. Kurkin, A.V. Medvedev, K.G. Ratovsky // Proc. XXX URSI General Assembly, Istanbul, Turkey. — 2011. — P. 605–1145.

Podlesnyi, A.V. Studying travelling ionospheric disturbances from near-vertical ionosphere sounding with high temporal resolution / A.V. Podlesnyi, V.I. Kurkin, O.A. Laryunin, M.D. Pezhemskaya, L.V. Chistyakova // Proc. XXXI URSI General Assembly, Beijing, China. — 2014. — GP2.27.

Berngardt, O.I. Dynamics of vertical ionospheric inhomogeneities over Irkutsk during 06:00–06:20 UT 11/03/2011 caused by Tohoku Earthquake / O.I. Berngardt, G.V. Kotovich, S.Ya. Mikhailov, A.V. Podlesnyi //J. Atmos. Solar-Terr. Phys. — 2015. — Vol. 132. — P. 106–115. — doi: 10.1016/j.jastp.2015.07.004

Berngardt, O.I. Vertical midscale ionospheric disturbances caused by surface seismic waves based on Irkutsk chirp ionosonde data in 2011–2016 / O.I. Berngardt, N.P. Perevalova, A.V. Podlesnyi, V.I. Kurkin, G.A. Zherebtsov // J. Geophys. Res. Space Physics. — 2017. — Vol. 122. — P. 4736–4754. — doi: 10.1002/2016JA023511.

Kurkin, V.I. Characteristics of HF radio waves propagation along subauroral and mid-latitude paths over Eastern Siberia during magnetoactive period in February 2014 / V.I. Kurkin, N.M. Polekh, S.N. Ponomarchuk, A.V. Podlesny,

N.A. Zolotukhina, E.B. Romanova // PIERS Proceedings, Prague, Czech Republic, July 6–9. — 2015. — P. 199–1998.

Kurkin, V.I. Observations of traveling ionospheric disturbances on the basis of vertical and near-vertical sounding data / V.I. Kurkin, O.A. Laryunin, A.V. Podlesnyi, M.D. Pezhemskaya, L.V. Chistyakova // Proceedings of 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium — Spring (PIERS). St. Petersburg, Russia. — 2017. — P. 1966–1969. — doi: 0.1109/PIERS.2017.8262072.

В них отражена суть исследований:

- анализ возможностей по улучшению аппаратурных 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.

- теоретический анализ и программная реализация 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.

- анализ данных радиозондирования ионосферы в комплексной постановке пространственно-разнесенных средств диагностики, включающей, как элемент общей сети, и разработанную установку "Ионозонд-МС".

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах, вида, авторского вклада и объема научных изданий.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв на автореферат, подписанный к.ф.-м.н. Д.Г. Баишевым, доцентом, и.о.зав.лаб. магнитосферно-ионосферных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения Российской академии наук. Отзыв положительный. Сделаны замечания:

- В тексте встречаются неудачные выражения и орфографические погрешности, например:
- стр.6: «... диагностировать ионосферные эффекты быстропротекающих и слабо прогнозируемых экстремальных явлений на Солнце (вспышки,

солнечные космические лучи и т.д.), в магнитосфере (магнитные бури и суббури), атмосфере (внезапные стратосферные потепления, ураганы и т.д.) и литосфере Земли (землетрясения).» Вопрос прогноза экстремальных явлений на Солнце, в атмосфере и литосфере является дискуссионным, но прогноз магнитных возмущений в магнитосфере вполне осуществим [см., Yermolaev et al., 2014, J. Geophys. Res. Space Physics, doi:10.1002/2014JA019826].

стр.17: «… пукте Торы …»

2. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н. А.С. Крюковским, профессором, научным руководителем института информационных систем и инженерно-компьютерных технологий Автономной некоммерческой организации высшего образования «Российский новый университет» (АНО ВО РосНОУ). Отзыв положительный. Сделано замечание:

- Главным замечанием по тексту автореферата является отсутствие результатов математического моделирования явлений, полученных экспериментально.

3. Отзыв на автореферат, подписанный д.т.н. В.В. Трекиным, доцентом, старшим научным сотрудником НИИЦ (г. Москва) ЦНИИ ВВКО Минобороны России. Отзыв положительный. Сделаны замечания:

- Следует отметить, что целесообразно было бы рассмотреть в сравнительно-сопоставительном аспекте отечественный и зарубежный опыт реализации подходов при решении задачи мониторинга ионосферных возмущений.

- Из автореферата не ясно: приведённые примеры качества работы разработанного ЛЧМ-ионозонда характерны для всех случаев ионосферных возмущений или отражают избранные моменты его хорошей работы лишь в некоторых возмущённых состояниях среды распространения?

4. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н. В.П. Урядовым, ведущим научным сотрудником НИРФИ ННГУ им. Лобачевского. Отзыв положительный. Сделаны замечания:

- В диссертации не рассматривается механизм появления дополнительных сигналов на трассах Магадан-Торы и Норильск-Торы, связанный с рассеянием радиоволн на мелкомасштабных неоднородностях. Вместе с тем, известно, что диффузные сигналы, регистрируемые с большими задержками на частотах ниже/выше МНЧ прямого сигнала через F-область ионосферы могут быть обусловлены

рассеянием радиоволн на мелкомасштабных неоднородностях, локализованных на южной границе аврорального овала. Об этом, в частности, свидетельствуют результаты экспериментов и моделирования на трассах ЛЧМ-зондирования Инскип (Англия)-Ростов-на-Дону и Кипр-Ростов-на-Дону во время магнитных бурь 29-30.10.2003г. и 22-23.06.2015г. (Урядов и др. Изв. Вузов, Радиофизика, 2004, т.47, №12; 2017, т.60, №5).

- На рис. 11 очень мелкий шрифт на осях и в поле рисунка, это неудобно для чтения.

5. Отзыв на автореферат, подписанный к.ф.-м.н. В.В. Шумаевым, руководителем отдела научных разработок ООО «СИТКОМ», с.н.с. НТЦ-3 НИИДАР (совместитель, г. Москва). Отзыв положительный. Сделано замечание:

- К недостатку, к сожалению, можно отнести то, что в работе не проведён анализ (не видно из содержания автореферата) влияния увеличения скорости изменения частоты ЛЧМ сигнала в методе ЛЧМ-зондирования, а именно: 1) уменьшение энергии зондирующего сигнала; 2) увеличение частотной полосы сжатого по спектру ЛЧМ сигнала на выходе приёмника; 3) влияние дисперсионных искажений ионосферы; 4) увеличение фазовых искажений модуляционной характеристики при цифровом синтезе ЛЧМ сигнала в виде его ступенчатой аппроксимации. Все перечисленные факторы уменьшают отношение сигнал/помеха, а последний приводит к появлению на выходе корреляционного приёмника боковых паразитных сигналов («парные эхо» [Кук, Ч. Радиолокационные сигналы/Ч. Кук, М. Бернфельд – М.; Советское радио, 1971.– 246 с.]). Не рассмотрены методы минимизации отрицательных факторов этого влияния на энергетические и метрологические характеристики нового ЛЧМ ионозонда, как это было сделано автором при введении корректирующего фильтра.

6. Отзыв на автореферат, подписанный к.ф.-м.н. А.Д. Акчуриным, зав. кафедрой радиоастрономии отделения радиофизики и информационных систем института физики казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ). Отзыв положительный. Сделаны замечания:

- На стр. 13 автореферат информирует нас, что при работе с «непрерывным ЛЧМ-сигналом проводится **имитация** (выделение моё, ААД) зондирования ионосферного ионосферного канала узкополосными импульсными сигналами на ряде частот». По тексту не понятно, является

ли эта имитация стандартной обработкой для получения «истинной» ионограммы по «узкополосному импульсному» сигналу или просто одноразовой демонстрацией какой-то гибкости при постобработке передаточной функции ионосферного радиоканала, когда «появляется возможность выбора вида и ширины полосы зондирующих импульсов на основе сравнения получаемых результатов и оценки их эффективности». А если бы закладывалась возможность перехода ионозонда за рамки сетевого, то тут, скорее, хотелось бы увидеть опыт по выбору «вида и ширины полосы зондирующих импульсов» для повышения, например, высотного разрешения.

- На стр. 15 встречается фраза, что необходимыми условиями появления дополнительного трека на ионограмме ВЗ или СНЗ являются .. достаточная амплитуда возмущения в центре «линзы», вызывающей многолучевость в месте расположения приемника ЛЧМ-сигналов». Непонятно, о какой амплитуде идет речь, и, полагая, что речь идет о полном отражении (а не рассеянии), раз упоминался термин линза, то логично было бы услышать термин кривизна линзы, а не амплитуда.

- Раз автор так много усилий потратил максимальному снижению мощности, то почему не приводятся сравнения энергетических характеристик с эквивалентными современными маломощными ионозондами, например, с системой PRIME (Portable Remote Ionospheric Monitoring Equipment) [Harris, T.J., A.D. Quinn, and L.H. Pederick (2016), The DST group ionospheric sounder replacement for JORN, Radio Sci., 51, 563-572, doi:10.1002/2015RS005881]?

7. Отзыв на автореферат, подписанный к.ф.-м.н. А.А. Колчевым, доцентом Института Физики Казанского Федерального Университета. Отзыв положительный. Сделаны замечания:

- В автореферате во многих местах рассматривается ионосферный радиоканал, но нигде не расшифровано содержание этого понятия – это ионосферный канал распространения или он включает входные цепи приёмника (антенно-фидерный тракт и т.д.)? Поэтому непонятным оказывается результат: «определение передаточной функции ионосферного радиоканала».

- Согласованный корректирующий фильтр реализован во временной области, однако в автореферате нигде не описана основная схема приема в реализованном ЛЧМ ионозонде – гетеродинная схема приема и обработка в частотной области с использованием БПФ или схема приема

на основе согласованного фильтра и обработка во временной области.

- В автореферате часто не разделяются временные и частотные переменные, например, после формулы (6) на странице 12 записано «… показано, что Ф(t) может …, а спектр $П(t)$…», т.е. аргументом в спектре выступает время, а не частота, кроме того спектр собственно равен $П(\omega)e^{-i\Phi(\omega)}$, а $П(\omega)$ – модуль спектра.

- В основных результатах в п. 4 указано, что корректирующий фильтр позволяет удалять сосредоточенные помехи, однако ранее (стр. 12) было указано, что описание алгоритмов удаления помехи из исходного сигнала выходит за рамки данной работы.

8. Отзыв на автореферат, подписанный к.ф.-м.н. В.В. Хегай, ведущим научным сотрудником отдела «Ионосферные исследования» ИЗМИРАН. Отзыв положительный. Замечаний нет.

9. Отзыв на автореферат, подписанный д.т.н. Г.Н. Ткачевым, профессором, главным научным сотрудником ОАО «НПК «Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи». Отзыв положительный. Замечаний нет.

10. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н. Д.В. Ивановым, профессором, Проректором по научной работе Поволжского государственного технологического университета и д.ф.-м.н. Н.В. Рябовой, профессором, заведующей кафедрой радиотехники и связи Поволжского государственного технологического университета. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются известными и авторитетными учеными в области радиофизики, выполняли работы, связанные с исследованием ионосферной плазмы различными радиофизическими методами, а в ИЗМИРАН на протяжении десятилетий ведутся исследования в области ионосферного распространения радиоволн, что непосредственно связано с темой диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

–*Разработан* и создан с использованием технологии программно-определяемых систем однопозиционный ионозонд вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом «Ионозонд-МС» (МС в обозначении - моностатический).

– *Предложен* способ восстановления передаточной функции радиоканала во всем коротковолновом диапазоне частот с использованием непрерывного ЛЧМ-сигнала.

– *Доказана* высокая эффективность сети мониторинга ионосферных возмущений в Азиатском регионе России на базе «Ионозонд-МС» и реперных ЛЧМ передатчиков для диагностики ионосферных эффектов быстропротекающих или слабо прогнозируемых экстремальных явлений на Солнце, в магнитосфере, атмосфере и литосфере Земли.

- *Получена* на основе анализа длинных рядов данных достоверная оценка средней внутрисуточной вероятности появления дополнительных следов (треков) на ионограммах вертикального радиозондирования, достигающая ~30% в дневное локальное время.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что:

– разработанный новый способ определения передаточной функции ионосферного радиоканала по данным зондирования непрерывными ЛЧМ-сигналами с коррекцией конструктивных фазовых искажений открывает широкие возможности исследования распространения широкополосных сигналов коротковолнового диапазона в ионосферных радиоканалах.

Практическое значение полученных соискателем результатов заключается в том, что:

- разработан и введен в состав сети ЛЧМ-зондирования ИСЗФ СО РАН однопозиционный ионозонд вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом «Ионозонд-МС», позволяющий получать данные высокого временного разрешения для исследования волновых процессов в ионосфере,

- разработан корректирующий фильтр конструктивных фазовых искажений, позволяющий эффективно устранять сосредоточенные помехи при вертикальном и наклонном зондировании ионосферы непрерывными ЛЧМ сигналами.

Достоверность полученных результатов обусловлена согласованностью результатов наблюдений, выполненных на «Ионозонд-МС», с аналогичными данными наблюдений других инструментов и обсерваторий, равно, как и, согласованностью результатов анализа данных с выводами ряда других исследователей и непротиворечивостью их общим теоретическим соображениям.

Личный вклад соискателя: Автор лично принимал участие в определении состава и схемы однопозиционного ионозонда вертикального и

наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом. Создавал программные модули, аппаратную часть и антенные системы, составляющие основу ионозонда. Разработал и реализовал новый способ определения передаточной функции по результатам зондирования ионосферы ЛЧМ-сигналами с использованием корректирующего фильтра конструктивных фазовых искажений. Автор создал программное обеспечение первичной обработки архива данных наблюдений «Ионозонд-МС».

Во всех исследованиях, изложенных в работе, автор принимал непосредственное участие в постановке задачи и интерпретации результатов, формулировал основные выводы.

На заседании 30 октября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Подлесному А.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве _22_ человек, из них _7_ докторов наук по специальности радиофизика, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за _22_ человек, против _0_ чел., недействительных бюллетеней _нет_.

Зам. председателя
диссертационного совета Д 003.034.01,
чл-корр. РАН В.М.Григорьев

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 003.034.01,
кандидат физико-математических наук В.И. Поляков

30 октября 2018 г.