

## ОТЗЫВ

официального оппонента, Владимира Ильича Козлова,  
на диссертацию Полетаева Александра Сергеевича «Когерентное детектирование  
СДВ радиосигналов, распространяющихся в волноводе Земля-ионосфера»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 01.04.03 – Радиофизика

**Актуальность темы.** Результаты расчетов для современных моделей нижних слоев ионосферы, особенно слоя D недостаточно четко соответствуют экспериментальным наблюдениям и требуют уточнения. Решение этой проблемы может быть основано на анализе проводимых в настоящее время многолетних мониторинговых данных об особенностях влияния различных явлений на параметры нижних слоев ионосферы. Дополнительно отметим, что «технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды...» включены в перечень критических технологий Российской Федерации (утверждён Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899). Вышесказанное и определяет **актуальность** проведённых в работе исследований.

**Диссертация содержит** 217 страниц текста, 96 рисунков, 28 таблиц и состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 160 наименований и 3 приложений на 16 страницах.

Во введении представлена актуальность темы диссертационной работы, сформирована постановка задачи, отмечается научная новизна, личный вклад автора, методы исследования, достоверность и практическая ценность полученных результатов, сформулированы защищаемые положения.

На основе приведенного литературного обзора в первой главе сформулированы требования к методике проведения эксперимента, техническим характеристикам измерительных СДВ приемников.

Во второй главе рассмотрен разработанный в ИРНITU аппаратно-программный комплекс для долговременных интерферометрических измерений амплитуды и фазы ОНЧ радиосигналов и выполнена оценка погрешностей измерений. Описано разработанное устройство синхронизации для внешнего генератора тактовых импульсов АЦП. Описаны новые алгоритмы разделения вариаций амплитуды и фазы сигналов, возникающих вследствие трех типов манипуляции частоты несущих колебаний при передаче, и дрейфа фазы, обусловленного ионосферным распространением радиоволн. Описаны полученные на эти методы патенты. Рассмотрен созданный для автоматизации эксперимента комплект программного обеспечения, на который получено свидетельство о государственной регистрации.

В третьей главе приведены результаты обработки наблюдений в прибайкальском регионе за изменением состояния среднеширотной ионосферы и распространением СДВ радиоволн в спокойных и возмущенных условиях. Экспериментально показано, что для трасс средней зоны (3000 км). существенной для отражения сигнала является именно область на середине трассы, а превалирующее значение имеет односкачковый луч.

В заключении диссертации сформулированы основные выводы и кратко описаны полученные результаты диссертационной работы.

**Основные научные результаты** состоят в том, что:

1. Разработан аппаратно-программный комплекс для проведения синхронных измерений амплитуды и фазы СДВ радиоволн, распространяющихся в волноводе Земля-ионосфера.

2. Обоснованы новые методы демодуляции и оценки в условиях помех дрейфа фазы в волноводном канале Земля-ионосфера для сигналов с частотной манипуляцией (CPFSK, MSK, GMSK). Особенностью методов является отдельное когерентное детектирование логических нулей и единиц информации. Доказана работоспособность предложенных методов путем моделирования сигналов.

3. Выполнен анализ данных наблюдений за состоянием спокойной и магнитно-возмущенной среднеширотной ионосферы и исследованы закономерности процессов в нижних слоях среднеширотной ионосферы: объяснен предрассветный рост амплитуды сигналов, определена граница проникновения магнитосферных протонов в D слой, рассмотрены флуктуации параметров сигналов во время геомагнитных бурь.

**Достоверность и обоснованность полученных результатов**, изложенных в диссертации, обусловлена использованием данных, полученных с использованием разработанной автором и проверенной на модельных сигналах геофизической наземной аппаратуры, применением современных, физически обоснованных новых, предложенных автором, методов их обработки и анализа. Основные результаты согласуются с результатами предыдущих исследований и развивают их.

Материалы диссертации широко апробированы на российских и международных конференциях.

Результаты исследований по теме диссертации весьма полно отражены в публикациях автора. Основные результаты диссертационной работы представлены в 6 публикациях в ведущих рецензируемых изданиях, приведенных в соответствующем перечне ВАК.

Автореферат диссертации достаточно полно передает смысл диссертации, написан понятным языком и соответствует содержанию диссертационной работы. В автореферате ссылка 2 нет первого автора - Tokmachev D.A. 2. Poletaev A.S., Bezrukin A.G., Chenskii A.G., Zasenko V.E., Gubin N.A. A Synchronization System of Very Low Frequency Interferometers // Instruments and Experimental Techniques, 2014. Vol. 57, No. 5, pp. 587–593.

**Практическая значимость** полученных результатов обусловлена тем, что предложенные в диссертации методы синхронных измерений в разнесенных пунктах приема позволяют выделить ионосферные неоднородности, вызванные, например, сейсмическими событиями в прибайкальском регионе, или сверхмощными космическими гамма всплесками, что повышает научную значимость.

Результаты работы могут быть использованы в НИИ, занимающимися исследованием вариаций параметров нижней ионосферы и явлений, приводящих к этим вариациям.

#### **Замечания и недостатки диссертации:**

Третье защищаемое положение излишне подробное и объемное, включает 3 (три) результата.

Текст диссертации слишком перегружен техническими подробностями описания как аппаратуры, так и применяемых методов, и программного обеспечения.

Отмечено, что для трассы протяженностью 6850 км при вечернем терминаторе глубина минимумов не достигает утренних значений, а для трасс средней зоны вечерний минимум более глубокий по сравнению с утренним. Утверждение не подтверждено расчетами или литературными ссылками, лишь подчеркнута, что интерференционные эффекты для трассы средней протяженности проявляются в меньшей степени.

Одной из целей диссертационной работы определен долговременный мониторинг состояния нижней ионосферы используя СДВ радиоинтерферометр, разработанной в Иркутском национальном исследовательском техническом университете (база трехэлементного СДВ интерферометра: Теплоэнергетик, Карлук, Лесная поляна). По мнению оппонента, термин «долговременный» в области солнечно-земной физики, включая физику ионосферы, означает получение однородного непрерывного массива экспериментальных данных, по крайней мере, в одном цикле солнечной активности, т.е. за 11 лет. Примерно такой интервал отмечен самим диссертантом, но, сам факт наличия длинных рядов в диссертации не проиллюстрирован. Показаны экспериментальные материалы (или ряды) за февраль-апрель 2011 г (приемник в п. Теплоэнергетик), май-ноябрь 2015 г (пункт приема не уточнен), 2016 г (приемник в п. Теплоэнергетик?) и 2017 г (приемник в п. Лесная Поляна) и другие отдельные наблюдения.

На стр.55: Чувствительность приемника достаточно высокая для приема сигналов даже от таких удаленных станций, как NML (25.2 кГц, США) и NPM (21.4 кГц, Гавайи, США), расположенных на расстоянии свыше восьми тысяч километров от приемника. Достаточно высокая - на сколько выше сигналы этих радиостанций уровня шума?

Имеется ряд несоответствий:

стр.148: Таблица 3.4 – Аномальные изменения амплитуды во время магнитных бурь 2015 – 2019 годов (п. Теплоэнергетик); стр. 176: Анализ эффектов магнитных бурь 2010–2019 годов показал ...

Имеются неоднозначные термины и обозначения:

стр.3: Кроме того, изменчивость климата приводит к устареванию полученных ранее моделей. Что за термин «устаревание»?

стр.7: Воздействие на ионосферу мощным радиоизлучением сопровождается рядом физических явлений: возникновение искусственных неоднородностей, генерация в ионосфере ОНЧ радиоволн (эффект Гетманцева), кросс-модуляция проходящих через одну и ту же область ионосферы радиосигналов (Люксембург-Горьковский эффект), возбуждение магнитосферы и стимулированное высывание магнитосферных частиц, свечение ионосферы (искусственная аврора) и другие. Определена слишком большая область для процесса возбуждения как «магнитосфера». Мощное радиоизлучение будет воздействовать на некоторый участок магнитосферы Земли.

стр.29 дисциплинированные спутниковые часы Trimble Thunderbolt, точность привязки к шкале UTC которых составляет  $\pm 50$  нс [Каримов и др., 2012]; стр.59. Такая технология стабилизации частоты получила название дисциплинированных спутниковых часов (GPS Disciplined Oscillator). Правильный перевод: GPS - дисциплинированный генератор (GPSDO)

[https://ru.qwertyu.wiki/wiki/GPS\\_disciplined\\_oscillator](https://ru.qwertyu.wiki/wiki/GPS_disciplined_oscillator)

стр.37: Однако такая запись, к примеру, для 24-разрядного АЦП с тактовой частотой преобразования 200 кГц даже при сохранении в двоичные файлы занимает память со скоростью более 48 Гб/сутки. Можно согласиться с диссертантом, что при описании записи информации можно использовать определение скорости. Но в данном конкретном случае, сделана оценка объема памяти для записи суточных данных.

стр.47: В непосредственной близости от приёмных антенн расположены предварительные усилители, выполненные на малошумящих микросхемах KP538УН3А. Данные микросхемы являются сверхмалошумящими широкополосными усилителями и предназначены для низкоомных индуктивных датчиков. Два определения: малошумящих / сверхмалошумящими.

стр.142: ...буря средней силы 1 марта 2011 г (панели 3.23-в,г) класса G2 Нет такого определения как «буря средней силы». ...слабая, средняя, сильная, очень сильная, экстремально сильная.

Имеются стилистические и орфографические ошибки:

стр.8: Однако данная задача являйся очень трудной ... опечатка: являйся

стр.21: В другом способе верхняя стенка задана как совокупность слоев с определенной проводимостью, диэлектрической и магнитной проницаемостью. опечатка: проводимость - проводимостью

стр.22: мегагерц с большой буквы

стр.24: между изолированными от земли... Земли нужно с большой буквы

стр. 29 ...Шаффера... нужно Шафера

стр.34: ...деленое на скорость света... опечатка: деленое

стр.60: ...до 1 герца... с большой буквы

стр.72: герца... с большой буквы

стр.106: Разработанный... опечатка

стр.134: На рисунке 3.16-в по данным приемника в г. Киль хорошо видно заметное увеличение ... опечатка: 3.16-в, нужно 3.18-в

