

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу *Корсакова Алексея Анатольевича «Вариации параметров ОНЧ-радиосигналов при распространении в волноводе Земля – ионосфера над территорией Северной Евразии в зависимости от солнечной активности»*, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате»

**I. Диссертационная работа** А.А. Корсакова посвящена решению важной научной задачи: *«Оценка вариаций эффективной высоты волновода Земля – ионосфера над Северной Евразией в спокойных и возмущенных условиях, включая солнечные вспышки и затмения, основанная на сравнительном анализе вариаций мощности радиошума, амплитуды и фазы радиосигналов навигационных передатчиков ОНЧ-диапазона»*, имеющей важное научное, народно-хозяйственное и оборонное значение.

**II. Актуальность** Для стабильной работы радиотехнических систем различного назначения необходимо в режиме реального времени отслеживать и прогнозировать параметры атмосферы как среды распространения радиосигнала. Исторически сложилась так, что основание ионосферы является наименее изученной областью земной атмосферы: методы и средства, применяемые в метеорологии, уже не работают, а радиолокационные средства исследования ионосферы – ионозонды ещё не работают. Недостатками же прямых методов исследования основания ионосферы (ракетные пуски) являются локальный характер, малая продолжительность и высокая стоимость. Такие радиолокационные методы исследования основания ионосферы как метод частичных отражений и мезосферно-термосферные радары представляют собой уникальные научные инструменты, расположенные на весьма большом удалении от Северной Евразии. Поэтому наибольшее развитие получили методы, основанные на изучении характеристик распространения ОНЧ-радиоволн в канале: поверхность земли – основание ионосферы. Так, регистрация естественных ОНЧ-сигналов и ОНЧ-сигналов навигационных систем позволяет: а) определить параметры нижней ионосферы и свойства канала поверхность земли – основание ионосферы; б) оценивать параметры магнитосферной плазмы; в) проводить мониторинг грозовой активности. Поэтому тема работы, посвященная изучению динамики нижней ионосферы над Северной Евразией в спокойных и возмущенных условиях (солнечные вспышки и затмения, внезапные ионосферные возмущения), является актуальной.

**III. Цель исследований** Диссертация посвящена оценке, на основе разработанных экспериментальных методов и средств, вариаций параметров волновода Земля – ионосфера

над Северной Евразией в спокойных и возмущенных условиях, включая цикл солнечной активности, солнечные вспышки и затмения, внезапные ионосферные возмущения.

**IV. Структура и объем работы** Диссертационная работа А.А. Корсакова состоит из Введения, пяти Глав, Заключение, Списка цитируемой литературы (233 наименования), содержит 212 стр. текста, 48 рисунков, 22 таблиц.

Во *Введении*: обозначена цель, дано обоснование актуальности диссертационной работы, определён круг решаемых в ней задач, сформулированы выносимые на защиту научные положения, указаны их новизна, научная и практическая значимость.

В *Первой главе* представлен обзор состояния исследований и выбору методики исследования. В ней, на основе обзора основных свойств верхней атмосферы, источников сигналов ОНЧ-диапазона и особенностей их распространения, сделаны следующие выводы: а) поскольку длительности радиоимпульсов и пауз между ними радионавигационной системы РСДН-20 исключают перекрытие радиосигналов в любой точке исследуемого региона, это позволяет проводить регистрацию амплитуды и фазы сигналов РСДН-20, а во время пауз на этих же частотах регистрировать мощность ОНЧ-радишума; б) слабое затухание ОНЧ-радиоволн, распространяющихся в канале Земля – ионосфера позволяет проводить мониторинг грозовой активности; в) по экспериментальным данным возможно проводить валидацию и корректировку существующих моделей нижней ионосферы; г) сигналы ОНЧ-радиопередатчиков следует использовать для мониторинга состояния и динамики нижней ионосферы и исследования солнечно-земных связей.

*Вторая глава* посвящена разработке регистратора амплитуды и фазы сигналов радиопередатчиков и мощности радишума ОНЧ-диапазона. В итоге: а) разработаны методика и программное обеспечение регистрации и выделения мощности радишума, амплитуды и фазы радиосигналов на рабочих частотах РСДН-20 и получены устойчивые суточные амплитудно-фазовые вариации сигналов ОНЧ-передатчиков; б) проведена калибровка амплитудных измерений регистратора в г. Якутске, позволяющая проводить анализ данных с использованием абсолютных единиц электрической составляющей поля сигнала у приемной антенны; в) организованы, на базе предложенного и реализованного метода, исследования особенностей распространения ОНЧ-радиоволн в режиме мониторинга в спокойных и возмущенных условиях.

В *Третьей главе*, на основе длительных непрерывных рядов наблюдений, проведен анализ суточных, сезонных и межгодовых вариаций мощности радишумов, амплитуды и фазы радиосигналов РСДН-20 и установлено: а) днем амплитуда ОНЧ-сигнала меньше, чем ночью, максимум амплитуды зарегистрирован летом во время минимального зенитного угла

Солнца на середине радиотрассы, суточные вариации амплитуды связаны с изменениями высотного градиента концентрации электронов в нижней ионосфере; б) фазовая задержка радиосигнала растёт при переходе от дня к ночи, что связано с увеличением эффективной высоты волновода Земля – ионосфера; в) ярко выражены сезонные дневные вариации амплитуды ОНЧ-радиосигналов передатчиков – меньшие амплитуды ОНЧ-радиосигналов регистрируются зимой, а сезонная асимметрия высотных профилей концентрации электронов нижней ионосферы приводит к тому, что дневная амплитуда ОНЧ-радиосигналов осеннего равноденствия ближе к летнему солнцестоянию, а амплитуда весеннего равноденствия – к зимнему солнцестоянию; г) изменение уровня солнечной активности приводит к согласованным изменениям мощности ОНЧ-радиозумов и амплитуд ОНЧ-радиосигналов; д) с 2009 по 2017 гг. интенсивность грозовой активности в Северной Азии возросла в 2,5 раза днем и в 1,5-2,5 раза ночью.

*Четвертая глава* посвящена оценкам влияния рентгеновских солнечных вспышек на вариации фазы ОНЧ-сигналов радиостанций и выявлено: а) для ОНЧ-радиотрасс в Северной Евразии величина внезапных фазовых аномалий (ВФА) от рентгеновских вспышек может быть представлена линейной функцией логарифма произведения интенсивности потока рентгеновского излучения и усредненного вдоль трассы косинуса зенитного угла Солнца; б) по данным регрессионной модели ВФА показано, что для радиотрасс Новосибирск – Якутск и Краснодар – Якутск отклонение фазы ОНЧ-сигналов увеличивается от лета к зиме; в) проведена адаптация параметров регрессионной модели ВФА на ОНЧ-радиотрассах в Северной Евразии в зависимости от потока рентгеновского излучения Солнца; г) проведены оценки, по данным ВФА, вариаций эффективной высоты волновода на радиотрассах Северной Евразии и показано, что в зимний период понижение эффективной высоты волновода Земля – ионосфера на радиотрассах Северной Евразии при ВФА наименьшее в максимуме цикла солнечной активности; д) проведена, по данным ВФА, корректировка параметров регрессионной модели по оценке интенсивности потока рентгеновского излучения в во время солнечных вспышек и показано, что в дневных условиях полученные оценки согласуются с данными спутников.

*Пятая глава* посвящена анализу влияния солнечных затмений на вариации амплитуды и фазы ОНЧ-радиосигналов. В итоге: а) воздействие солнечного затмения на канал распространения ОНЧ-сигналов привело к повышению амплитуды и фазовой задержки; б) получены коэффициенты, связывающие изменение эффективной высоты волновода Земля – ионосфера с соответствующими вариациями потока ионизирующего излучения Солнца; в)

проведена оценка, при переходе от дневных к ночным условиям распространения, изменения эффективной высоты волновода Земля – ионосфера.

В *Заключении* суммированы основные результаты диссертационной работы.

#### **V. Новизна проведенных исследований**

Заключается в следующем:

- на основе длительной регистрации на рабочих частотах РСДН-20 как амплитуды и фазы сигналов радиостанций, так и мощности радиошумов получено, что с 2009 по 2017 гг. грозовая активность в Северной Азии возросла в 2,5 раза днем и в 1,5-2,5 раз ночью;
- показано, что для периода максимума солнечной активности понижение эффективной высоты волновода Земля – ионосфера при внезапных ионосферных возмущениях минимально в зимних условиях;
- предложена и разработана методика параллельной регистрации мощности радиошума, амплитуды и фазы радиосигналов на рабочих частотах РСДН-20;
- по данным измерений во время солнечных затмений установлена связь между изменением потока ионизирующего излучения Солнца и изменением эффективной высоты волновода Земля – ионосфера.

#### **VI. Научная и практическая значимость**

Представленные в диссертации научные и научно-технические результаты могут:

- явиться основой для верификации и корректировки эмпирических моделей нижней ионосферы;
- явиться основой для модернизации и развития систем дальней радионавигации и пеленгации;
- использоваться для оперативной диагностики и контроля грозовой активности в Северной Азии.

#### **VII. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, достоверность результатов, апробация, публикации**

Обеспечивается весьма значительным объёмом, разнообразием и полнотой данных об исследуемых явлениях, использованием физически и технически обоснованных методов регистрации, обработки и интерпретации экспериментальных данных и подтверждается, в том числе, результатами, полученных другими исследовательскими коллективами и авторами в пересекающихся областях.

Положения, выносимые на защиту, находят своё подтверждение в тексте диссертации, а также в научных работах, 9 из которых входят в международные базы цитирования (Web of

Science, Scopus) и перечень ВАК. Получено 1 свидетельство о госрегистрации базы данных и 2 свидетельства о госрегистрации программ для ЭВМ. Основные результаты и выводы по работе доложены и апробированы на Российских и международных конференциях и симпозиумах.

Тема диссертации тесно связана с научно-техническими и научно-исследовательскими работами, выполненными по Госзаданию.

В целом диссертация соответствует пунктам 1, 4, 5 и 7 Паспорта специальности 1.6.18 – «Науки об атмосфере и климате».

### **VIII. Недостатки работы и замечания**

1. Защищаемые положения. Третье положение, выносимое на защиту, неудачно сформулировано: из текста положения «... *в зимний период понижение эффективной высоты волновода Земля – ионосфера на радиотрассах Северной Евразии при внезапных ионосферных возмущениях достигает меньших значений в максимуме цикла солнечной активности*» неясно – относится ли это утверждение к сравнению зима – лето или к минимуму – максимуму СА. Суть этого положения вскрывается после прочтения текста диссертации.

2. В тексте диссертационной работы анализируемые данные (Главы 2-5) многократно продублированы – представлены в виде и текстового описания, и таблиц, и графиков.

3. Большую часть материала 1-ой Главы следовало бы поместить в Приложение.

4. Прочие замечания:

- в ряде мест диссертации в формулах опечатки (например, ф. 4.2, стр. 126), ф. 5.11 и 5.12 отличаются только коэффициентом;
- многократно дублируются описания обозначений в формулах (например, Р – интенсивность ... и др.);
- в тексте диссертации и автореферата встречаются неудачные выражения, синтаксические ошибки.

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненного диссертационного исследования и не влияют на научную и практическую значимость работы.

### **IX. Заключение**

Совокупность представленных в диссертации результатов следует квалифицировать как решение важной научной задачи: «*Оценка вариаций эффективной высоты волновода Земля – ионосфера над Северной Евразией в спокойных и возмущенных условиях, включая солнечные вспышки и затмения, основанная на сравнительном анализе вариаций мощности радишума, амплитуды и фазы радиосигналов навигационных передатчиков*

*ОНЧ-диапазона*». Содержание диссертации, выдвинутые научные положения и результаты исследований дают основание заключить, что диссертация *А.А. Корсакова «Вариации параметров ОНЧ-радиосигналов при распространении в волноводе Земля – ионосфера над территорией Северной Евразии в зависимости от солнечной активности»*, является научно-квалификационной работой, в которой решена важная научная задача, соответствующая требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат диссертации в полной мере отражает её содержание.

Нагорский Петр Михайлович,  
доктор физ.-мат. наук (специальность 11.00.11 – «охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»), профессор,  
главный научный сотрудник лаборатории физики климатических систем  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск.

Почтовый адрес: 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3  
E-mail: nrm\_sta@mail.ru тел.: 8-(382)-249-15-65

Я, Нагорский Петр Михайлович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Гл. научн. сотр. ИМКЭС СО РАН, г. Томск,  
доктор физ.-мат. наук, профессор

П.М. Нагорский

Подпись г.н.с. П.М. Нагорского заверяю.

Ученый секретарь ИМКЭС СО РАН,

к.г.н.  Н.Н. Чердынько

11 февраля 2026 г.

