

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт солнечно-земной физики  
Сибирского отделения Российской академии наук**

**О Т Ч Е Т  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ  
И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 2015 г.**



**Иркутск, 2016**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук создан 27 мая 1960 г.

Директор Института – чл.-корр. РАН А.П. Потехин

### **Основные научные направления Института:**

– физика Солнца: изучение строения и активности Солнца и солнечноподобных звезд; физика солнечных вспышек и корональных выбросов массы; изучение эволюции Солнца, структуры солнечных магнитных полей и корональной плазмы; гелиосейсмология; механизмы радиоизлучения и методы диагностики корональной плазмы; мониторинг активных процессов на Солнце как источников возмущений в гелиосфере, магнитосфере, ионосфере и атмосфере Земли; разработка новых методов и аппаратуры для исследования в области астрофизики и физики Солнца;

– физика околоземного космического пространства: физика магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы; изучение магнитосферно-ионосферно-атмосферно-литосферных связей; выяснение механизмов влияния гелиосферных факторов на околоземное космическое пространство и атмосферу Земли, изучение эффектов космической погоды; ионосферное распространение радиоволн и радиофизические методы дистанционного зондирования; разработка новых методов и аппаратуры для диагностики и мониторинга окружающей среды (магнитосферы, ионосферы, атмосферы, литосферы) и активного воздействия на нее;

– проблемы астероидно-кометной опасности и экологии космоса: развитие оптических и радиофизических методов в области астероидно-кометной опасности, техногенного засорения и экологии космического пространства; мониторинг космического мусора и состояния космических аппаратов и станций;

– анализ и прогноз состояния климатической системы Земли: разработка и совершенствование моделей физических механизмов изменения климата с учетом солнечной активности; погодообразующие и климатообразующие факторы; влияние гелиосферных и геосферных факторов на атмосферу и стратосферно-тропосферный обмен.

## **1. Структура института**

### **Научные подразделения**

#### **Отдел физики околоземного космического пространства**

Рук. отд. – д.ф.-м.н. В.И. Куркин

• Лаборатория физики ионосферно-магнитосферного взаимодействия  
(зав. лаб. – д.ф.-м.н. А.В. Ташилин)

• Лаборатория изучения плазменно-волновой структуры магнитосферы  
(зав. лаб. – к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин)

• Лаборатория развития новых методов радиофизической диагностики атмосферы  
(зав. лаб. – д.ф.-м.н. А.В. Медведев)

• Лаборатория физики нижней и средней атмосферы  
(зав. лаб. – д.ф.-м.н. А.В. Михалев)

• Лаборатория исследования динамических процессов в ионосфере  
(зав. лаб. – к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт)

• Лаборатория экспериментальных и прикладных исследований околоземного космического пространства

(и.о. зав. лаб. – к.ф.-м.н. Н.В. Ильин)

• Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория

(зав. обсерваторией – д.ф.-м.н. Р.А. Рахматулин)

• Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА)

(зав. обсерваторией – А.В. Заворин)

- Геофизическая обсерватория (ГФО)  
(зав. обсерваторией – В.Ф. Белкин)
  - Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция (Норильская КМИС)  
(зав. станцией – Г.П. Литвинов)

### **Отдел радиоастрофизики**

Руководитель отдела – к.ф.-м.н. С.В. Лесовой

Руководитель научного направления по радиоастрофизике – д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев

- Лаборатория мониторинга солнечной активности

(и.о. зав. лаб. – к.ф.-м.н. А.В. Губин)

- Лаборатория информационного обеспечения и методологии исследований

(зав. лаб. – к.ф.-м.н. Д.В. Просовецкий)

- Лаборатория радиоастрофизических исследований Солнца

(зав. лаб. – д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов)

- Радиоастрофизическая обсерватория (РАО)

(зав. обсерваторией – С.В. Кицанов)

### **Отдел физики Солнца**

Руководитель отдела – д.ф.-м.н. М.Л. Демидов

Руководитель научного направления по физике Солнца – чл.-корр. РАН В.М. Григорьев

- Лаборатория экспериментальной физики Солнца и астрофизического приборостроения

(зав. лаб. – к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов)

- Лаборатория строения солнечной атмосферы

(зав. лаб. – д.ф.-м.н. В.И. Скоморовский)

- Лаборатория солнечной активности

(зав. лаб. – д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов)

- Лаборатория инфракрасных методов в астрофизике

(зав. лаб. – к.ф.-м.н. М.В. Есевевич)

- Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО)

(зав. обсерваторией – к.ф.-м.н. А.В. Боровик)

- Саянская солнечная обсерватория (ССО)

(зав. обсерваторией – к.ф.-м.н. А.А. Луковникова)

### **Конструкторский отдел**

Зав. отд. – А.Я. Смольков

- Сектор электронной аппаратуры

(зав. сектором – А.Я. Смольков)

- Экспериментальный цех

(нач. цеха – В.С. Федотов)

### **Научно-вспомогательные подразделения**

- Редакционно-издательский отдел

(зав. отделом – М.В. Никонова)

- Научная библиотека

(зав. библиотекой – О.Н. Капуркина)

- Патентный отдел

(зав. отделом – д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов)

- Первый отдел

(нач. отдела – Г.Е. Мешковский)

- Группа переводчиков

- Группа научно-технической информации

**Отдел по защите информации и сетевому сопровождению**

Зав. отд. – А.В. Джурик

**Административно-хозяйственные подразделения**

- Отдел кадров

(зав. отделом – В.И. Дроздова)

- Канцелярия

(вед. документовед – О.А. Лушева)

- Бухгалтерия

(гл. бухгалтер – В.С. Алейникова)

- Планово-экономический отдел

(зав. отделом – И.Н. Леонова)

- Службы и группы хозяйственного обслуживания

## **Руководство Института**

Директор

чл.-корр. РАН А.П. Потехин

Научный руководитель Института

академик Г.А. Жеребцов

Руководитель научного направления  
по физике Солнца

чл.-корр. РАН В.М. Григорьев

Руководитель научного направления  
по радиоастрофизике

д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев

Заместители директора по научной работе

д.ф.-м.н. М.Л. Демидов

д.ф.-м.н. В.И. Куркин

к.ф.-м.н. С.В. Лесовой

к.ф.-м.н. Р.А. Сыч

И.о. заместителя директора по научной  
работе и инновационной деятельности

к.ф.-м.н. В.В. Хахинов

И.о. заместителя директора по научной  
и образовательной работе

д.ф.-м.н. С.В. Олемской

Ученый секретарь

к.ф.-м.н. И.И. Салахутдинова

Заместитель директора по общим вопросам

А.Ю. Куликов

Адрес:

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.126а

Телефон:

(3952) 42-82-65

Факс:

(3952) 51-16-75, 42-55-57

e-mail:

uzel@iszf.irk.ru

Web:

www.iszf.irk.ru

## 2. Деятельность по научному сопровождению, проектированию и строительству объектов Укрупненного инвестиционного проекта Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук

С целью перехода на качественно новый перспективный уровень развития российской науки в области солнечно-земной физики и физики околоземного космического пространства (ОКП) и решения актуальных фундаментальных и прикладных задач в интересах безопасности страны и развития новых космических технологий, в том числе двойного назначения, в 2013 г. начались проектно-изыскательские работы по созданию Национального гелиогеофизического комплекса РАН (НГК) на базе обсерваторий ИСЗФ СО РАН.

26 декабря 2014 г. принято Постановление Правительства РФ № 1504 «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство объектов капитального строительства «Укрупненный инвестиционный проект “Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук”, 1 этап» (далее — Комплекс). На этапе 1 выделенные средства инвестируются в проектирование и строительство многоволнового радиогелиографа, системы радаров, оптических инструментов и в проектирование солнечного телескопа-коронографа в Республике Бурятия и Иркутской области. На дату выхода Постановления предусмотрены бюджетные инвестиции: на 2015 г. — 1 404 888 тыс. рублей; 2016 г. — 2 617 029 тыс. рублей и 2017 г. — 2 811 521.5 тыс. рублей. Срок ввода объектов в эксплуатацию — 2017 г. (для оптических инструментов — 2016 г.).

По итогам открытого конкурса для выполнения работ по созданию проектной и рабочей документации был определен генеральный проектировщик — АО «Лыткаринский завод оптического стекла» (АО ЛЗОС), входящий в Холдинг «Швабе» и Госкорпорацию «Ростех» — и заключен контракт № 115-08/2013 от 18 октября 2013 г. (далее — Контракт) на выполнение указанных работ.

Для научного сопровождения проектирования и строительства объектов Комплекса создано постоянно действующее совещание (ПДС) ИСЗФ СО РАН (приказ директора Института № 84 от 03.10.2013), руководитель ПДС — чл.-корр. РАН А.П. Потехин, зам. руководителя ПДС — академик РАН Г.А. Жеребцов, зам. руководителя ПДС — к.ф.-м.н. В.В. Хахинов, секретарь ПДС — д.ф.-м.н. С.В. Олемской, члены ПДС — руководители и ведущие специалисты субпроектов.

В 2015 г. в Иркутске было проведено 20 рабочих ПДС с участием представителей АО ЛЗОС, ООО ОКП «АРС» и других представителей субподрядных организаций по вопросам исполнения Контракта генпроектировщиком, взаимодействия рабочих групп, корректировки ТЗ, обсуждения замечаний со стороны Института к отчетным материалам и др.

ФГБУП "Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук"



ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

от 26 декабря 2014 г. № 1504

МОСКВА

Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство объектов капитального строительства  
“Укрупненный инвестиционный проект “Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук”, 1 этап”

Правительство Российской Федерации постановляет:

1. Осуществить в 2014 - 2017 годах бюджетные инвестиции за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета в проектирование и строительство объектов капитального строительства "Укрупненный инвестиционный проект "Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук", 1 этап" согласно приложению.

2. Установить, что государственным заказчиком в отношении указанных в пункте 1 настоящего постановления объектов является Федеральное агентство научных организаций, застройщиком (заказчиком) — федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук.

3. Федеральному агентству научных организаций — главному распорядителю средств федерального бюджета, Министерству образования и науки Российской Федерации, Министерству экономического развития Российской Федерации и Министерству финансов Российской Федерации обеспечить в 2014 - 2017 годах финансирование за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета работ по проектированию и строительству объектов, указанных в пункте 1 настоящего постановления, с распределением в соответствии с приложением к настоящему постановлению.



Д.Медведев

Под председательством вице-премьера Правительства РФ Д.О. Рогозина 5 июля 2015 г. было проведено рабочее совещание с выездом в обсерватории ИСЗФ СО РАН, где будут построены уникальные научные установки Комплекса. В работе совещания приняли участие президент РАН академик В.Е. Фортов, председатель Сибирского отделения РАН академик А.Л. Асеев, заместитель председателя Сибирского отделения РАН академик Г.А. Жеребцов, заместитель руководителя ФАНО России С.В. Кузьмин, врИО губернатора Иркутской области С.В. Ерощенко.

Совещание считает важным отметить следующее.



1. Строящийся Комплекс, в состав которого входят уникальные научные установки мирового уровня (многоволновой радиогелиограф, система радаров, солнечный телескоп-коронограф, проблемно-ориентированные оптические инструменты, лидар и т. д.), коренным образом изменит экспериментальную базу российской науки в области астрофизики, физики Солнца, околоземного космического пространства и практической космонавтики. Это позволит решать актуальные фундаментальные и прикладные задачи в интересах Роскосмоса, Министерства обороны, Росгидромета, РАН, учреждений, подведомственных ФАНО, Минприроды и других ведомств.

2. Комплекс имеет большое социальное значение для Иркутской области и Республики Бурятия. Уникальные научные установки являются мощной научно-технической экспериментальной базой для обучения школьников, студентов и аспирантов Сибирского региона. При выполнении Проекта будут созданы современная инфраструктура, новые рабочие места, организована научно-просветительская и образовательная деятельность на инструментах Комплекса, внедрены новые методы контроля и экологического мониторинга атмосферы озера Байкал и арктического региона России.

3. Выполнение Проекта осложняется задержкой на один год выхода Постановления Правительства № 1504 от 26.12.2014 г. «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство объектов капитального строительства “Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук”, 1 этап». Это привело к сжатым срокам выполнения проектных и строительных работ. В сложившихся условиях необходимо подготовить изменения к Постановлению Правительства с корректировкой технических заданий на проектирование и сроков ввода объектов и принять исчерпывающие меры по скорейшему началу строительства.

4. При подготовке Постановления Правительства «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство объектов капитального строительства «Укрупненного инвестиционного проекта “Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук”, 2 этап» необходимо учесть изменение курса рубля и увеличение стоимости объектов Комплекса.

С целью обеспечения качественного выполнения Проекта совещание считает необходимым безотлагательное решение следующих вопросов (поручение зам. председателя Правительства РФ от 03.08.2015 № РД-П7-5227): ФАНО России, Минобрнауки России, Минэкономразвития России, Минфин России обеспечить:

- необходимое руководство и координацию работ при создании Комплекса, а также научное сопровождение этих работ;
- разработку научной программы Комплекса с необходимым финансированием;

- уточнение заданий по проектированию и сроков ввода объектов Комплекса;
- подготовку предложений по строительству служебного жилья для специалистов Комплекса.

## О выполненных работах по состоянию на 01.01.2016

В 2013–2015 г. велись проектно-изыскательские работы (ПИР) в рамках Контракта с ОАО ЛЗОС. Из стоимости контракта 782 541,8 тыс. руб. на 01.01.16 г. освоено (принято по актам) 337 747,4 тыс. руб., оплачено авансов 281 094,1 тыс. руб., итого оплачено средств 681 841,5 тыс. руб. или 79 % от стоимости контракта.

В период 2013–2015 г. были выполнены следующие работы:

В 2013 г. планом предусматривалось освоить 139 269,0 тыс. руб., в том числе ПИР – 139 269,0 тыс. руб. Выполнены работы 1 этапа Контракта на сумму 139 269,0 тыс. руб., в том числе по объектам:

**Радиогелиограф** – Республика Бурятия, Тункинский район, урочище Бадары, территория Радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Выполнены работы на сумму 35 990,9 тыс. руб. в составе:

- Аванпроект, включающий следующие работы 1 этапа: пояснительная записка, содержащая технические характеристики, обоснование выбранной схемы радиогелиографа и текстовый документ с ЧТЗ на подсистемы радиогелиографа (привод, антenna, облучатель, система передачи данных, система сбора и обработки данных).



• Эскизный проект по ГОСТ 2.119-73\*, включающий следующие работы 1 этапа: технологическая схема расстановки оборудования с привязкой к существующему Сибирскому солнечному радиотелескопу (ССРТ); макет антенных постов; задание на разработку фундаментов под антенные посты с указанием габаритов фундамента, наличия закладных деталей или анкерных болтов для крепления оборудования, высотных абсолютных отмечек по всем фундаментам, предполагаемых нагрузок на фундаменты от оборудования; задание на проектирование электросилового оборудования для электроснабжения антенных постов с указанием потребляемой мощности каждого антенного поста, типа напряжения; задание на проектирование наружных линий связи от оборудования до существующего аппаратного здания ССРТ.

- Отчет по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям.
- Отчет по инженерно-геодезическим изысканиям.
- Отчет по инженерно-экологическим изысканиям.

**Система радаров** — Иркутская область, пос. Листвянка, территория Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Выполнены работы на сумму 9 388,9 тыс. руб. в составе:

1. Разработка проектной документации технологического оборудования (1 этап) по HP-MCT радару, отчет о выборе площадки для размещения HP-MCT радара.



2. Разработка проектной документации технологического оборудования (1 этап) по когерентному высокочастотному радару:

- Аванпроект, включающий следующие работы 1 этапа: пояснительная записка с результатами проведенных проработок, расчетов и других работ, отчет о патентных исследованиях, в том числе на патентную чистоту, аналитический обзор состояния вопроса.
- Эскизный проект фазированной антенной решетки по ГОСТ 2.119-73 с результатами моделирования и технико-экономическим обоснованием.
- Эскизный проект и макетирование вариантов элементов конструкций фазированной антенной решетки (одиночной антенны) по ГОСТ 2.119-73, включающий следующие работы 1 этапа: чертеж общего вида и габаритный чертеж изделия (радара и антенной решетки).

**Солнечный телескоп-коронограф** — Республика Бурятия, Тункинский район, пос. Монды, территория Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Выполнены работы на сумму 84 500,3 тыс. руб. в составе:

- Эскизный проект на башню с куполом для установки телескопа.
- Аванпроект телескопа, включающий монтировку, объектив телескопа, платформу научного оборудования, систему управления телескопом, результаты макетирования с целью выбора оптимальных технических решений наиболее ответственных узлов: охлаждаемой диафрагмы первичного фокуса, узла вторичного зеркала на основе гексапода, навесного спектрографа.
- Отчет по инженерно-геодезическим изысканиям.
- Отчет по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям.
- Отчет по инженерно-экологическим изысканиям.



**Оптические инструменты** — Республика Бурятия, Тункинский район, с. Торы, территория Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Выполнены работы на сумму 9 388,9 тыс. руб. в составе:

- Аванпроект, включающий следующие работы 1 этапа:
  - обзор состояния исследований верхней атмосферы и ионосферы оптическими методами;
  - обоснование необходимости создания объекта;
  - обзор существующих инструментов для исследования излучения верхней атмосферы Земли;
  - обоснование выбора инструментов;
  - характеристики необходимых инструментов (ориентировочные спецификации оборудования) и описание условий необходимых для установки и последующей работы оптических инструментов.
- Эскизный проект по ГОСТ 2.119-73, включающий работы 1 этапа в составе технологической схемы расстановки оптического оборудования в техническом корпусе (как



внутри помещения, так и на крыше здания) для размещения оптических инструментов и частных технических заданий на подсистемы.

- Пояснительная записка.
- Ведомость покупных и разрабатываемых приборов.
- План расположения приборов.
- Отчет по инженерно-геодезическим изысканиям,
- Отчет по инженерно-гидрометеорологическим изысканиям,
- Отчет по инженерно-экологическим изысканиям.

В 2014 г. Планом предусматривалось освоить 311 399,2 тыс. руб., в том числе ПИР – 311 399,2 тыс. руб. В связи с поздним выходом Постановления Правительства РФ «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство укрупнённого инвестиционного проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук», 1 этап» № 1504 от 26.12.14 г. проектно-изыскательские работы не проводились. Сроки выполнения этапов, обозначенные в контракте, были сокращены и перенесены с 2014 г. на 2015 г. (ДС к Контракту № 2 от 28.11.14 г.), в том числе по разработке проектной документации сроки были сокращены с 1 года и 2 мес. до 9 мес. Исполнителю ОАО ЛЗОС был перечислен аванс в размере 100 % стоимости 2 этапа контракта в сумме 311 399,2 тыс. руб.

В 2015 г. кроме проведения проектно-изыскательских работ по 2 и 3 этапам предусматривалось начало строительства и поставка оборудования по трем объектам: радиогелиограф, система радаров и оптические инструменты. Для выполнения указанного плана необходимо было разработать проектную документацию по объектам, пройти госглавэкспертизу (ГГЭ), получить положительное заключение ГГЭ и утвердить проектную документацию в установленном порядке.

Планом предусматривалось освоить 1 404 888,0 тыс. руб., в том числе ПИР – 288 883,0 тыс. руб.

Фактически выполнены проектно-изыскательские работы 2 этапа Контракта на сумму 198 478,4 тыс. руб., в том числе по объектам:

- Система радаров — Иркутская область, пос. Листвянка, территория Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Выполнены работы по 2 этапу контракта на сумму 80 609,4 тыс. руб. в составе:

- Земельно-кадастровые работы по отводу земельного участка на строительство НР-МСТ радара.

◦ Эскизный проект, рекогносцировочные геодезические изыскания, рекогносцировочные экологические изыскания, мониторинг радиочастотных излучений.

- Солнечный телескоп-коронограф — Республика Бурятия, Тункинский район, пос. Монды, территория Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Выполнены работы 2 этапа Контракта на сумму 117 869,0 тыс. руб. в составе:

- Эскизный проект Солнечного телескопа-коронографа (проект выполнен Бельгийской фирмой AMOS).

◦ Инженерно-геологические изыскания.

По объектам «Радиогелиограф» и «Оптические инструменты» были получены положительные заключения ГГЭ по инженерно-геологическим изысканиям. Разработка проектной документации была закончена, документация согласована заказчиком ИСЗФ СО РАН и ФАНО и направлена на рассмотрение ГГЭ. Исходя из нормативных сроков рассмотрения материалов в ГГЭ, получение заключения ожидается в конце февраля 2016 г. В связи с этим работы по 2 этапу Контракта не были приняты («Радиогелиограф» в сумме 98 583,7 тыс. руб., «Оптические инструменты» в сумме 14 337,1 тыс. руб.). Не были начаты работы по 3 этапу контракта («Радиогелиограф» в сумме 35 126,6 тыс. руб., «Оптические инструменты» в сумме 10 803,1 тыс. руб.).

По объекту «Солнечный телескоп-коронограф» в связи с удорожанием работ, выполняемых Бельгийской фирмы AMOS, работы по 3 этапу контракта в сумме 139 000,0 тыс. руб. не были выполнены.

По объекту «Система радаров» в связи с отсутствием правоустанавливающих документов на новый земельный участок разработка проектной документации не начата, не выполнены предусмотренные планом работы в сумме 103 953,3 тыс. руб.

Отсутствие положительных заключений ГГЭ и утвержденной в установленном порядке проектной документации по объектам «Радиогелиограф», «Оптические инструменты» и «Система радаров» не позволило организовать проведение открытых конкурсов по выбору подрядных организаций на выполнение строительно-монтажных работ и поставку оборудования по объектам и освоить выделенные капитальные вложения. В результате этого средства в размере 1 116 005,0 тыс. руб. в ноябре были отозваны с лицевого счета ИСЗФ СО РАН.

### **3. Исследования в области физики Солнца, радиоастрофизики и космических лучей**

Научные исследования выполнялись в отделах физики Солнца и радиоастрофизики.

Приоритетное направление II.16. Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач.

1. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.16.1 «Фундаментальные проблемы процессов космической погоды, включая процессы на Солнце, в межпланетной среде, магнитосфере и атмосфере Земли. Контроль и экология околоземного космического пространства» (координатор — академик Г.А. Жеребцов).

1.1. Проект II.16.1.5 «Развитие оптических и радиофизических методов в области астероидно-кометной опасности, техногенного засорения и экологии космического пространства». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. М.В. Еселеевич.

1.2. Проект II.16.1.6 «Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. Д.В. Просовецкий.

2. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.16.3 «Физика Солнца и астрофизическое приборостроение» (координатор — чл.-корр. РАН В.М. Григорьев).

2.1. Проект II.16.3.1 «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов.

2.2. Проект II.16.3.2 «Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере». Руководители проекта — д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов, д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

2.3. Проект II.16.3.3 «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой.

3. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.16.2 «Физика космических лучей и солнечно-земных связей» (координатор — чл.-корр. РАН Е.Г. Бережко).

3.1. Проект II.16.2.4 «Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

Также выполнялись работы по федеральным целевым программам в рамках проекта «Разработка дополнительной аппаратуры для дооснащения действующих оптических и радиотелескопов с целью обеспечения их работы в режиме мониторинга гелиогеофизической обстановки» (научный руководитель — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев).

Выполнялось 10 грантов РФФИ:

1 экспедиционный грант и 9 инициативных грантов по отделу РФФИ физики и астрономии, включая 1 грант по соглашению РФФИ с зарубежными научными организациями.

1. 13-02-00202-а «Исследование поршневой и взрывной ударных волн, связанных с возникновением и распространением выбросов корональной массы (ВКМ)», научный руководитель — д.ф.-м.н. В.Г. Есевевич.

2. 13-02-00044-а «Исследование процессов переноса энергии МГД-волнами в атмосфере Солнца», научный руководитель — к.ф.-м.н. Р.А. Сыч.

3. 14-02-91157-М «Многоволновая диагностика динамических процессов на Солнце с использованием новых радиоастрономических инструментов»; научный руководитель — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

4. 15-02-01089-а «Солнечные вспышки в микроволнах: от формирования токовых слоев до импульсной стадии», научный руководитель — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

5. 15-02-03717-а «Исследование процессов ускорения частиц в солнечных вспышках на основе уникальных наблюдений гамма-спектрометра «Конус-Винд» и Сибирского солнечного радиотелескопа», научный руководитель — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

6. 15-02-01077-а «Исследование возникновения и движения корональных выбросов массы и связанных с ними ударных волн по многоволновым данным», научный руководитель — д.ф.-м.н. В.Г. Файнштейн.

7. 15-02-10036-а «Научный проект проведения комплексной экспедиции для наблюдений солнечной активности в радиодиапазоне», научный руководитель — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

8. 15-32-20504-а «Исследование трехмерной структуры атмосферы солнечных активных областей по результатам многоволновых наблюдений, моделирования и корональной сейсмологии», научный руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов.

9. 15-35-50309-а «Исследование атмосферы на БСВТ для получения изображений с высоким пространственным разрешением и разработки оптимального алгоритма управления адаптивной оптической системы», научный руководитель — д.ф.-м.н. П.Г. Ковадло.

10. 15-32-51171-а «Локализация области ускорения электронов в солнечных вспышках на основе многоволновых наблюдений», научный руководитель — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

Выполнялись:

- Работы по укрупненному инвестиционному проекту «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН», научный руководитель — академик Г.А. Жеребцов.
- Прикладные работы в рамках ФЦП и хозяйственных договоров.

### **3.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности**

#### **Измерения магнитных полей Солнца**

В 2015 г. выполнены измерения крупномасштабных магнитных полей Солнца и наблюдения его активных областей. Дополнен архив магнитограмм Солнца и данные о солнечной активности по наблюдениям в разных спектральных диапазонах. В Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН на телескопе СТОП в течение 105 дней наблюдений получено 89 магнитограмм распределения крупномасштабных магнитных полей (КМП) по всему диску Солнца, выполнено 134 измерения общего магнитного поля (ОМП). В Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН на телескопе СТОП-1 в ходе 91 дня наблюдений получено 1494 магнитограммы полного диска.

Продолжены работы по исследованию характеристик магнитного поля и термодинамических параметров в тонкоструктурных магнитных элементах, которые могли бы наилучшим образом воспроизвести экспериментальные данные. Поскольку одним из эффективных методов при этом является изучение центро-лимбовых вариаций отношений напряженностей и асимметрии V-параметров Стокса, было выполнено моделирование данных

параметров [1]. Оказалось, что рассмотренные модели ансамблей силовых трубок позволяют относительно хорошо воспроизвести экспериментальные данные вблизи центра диска (рис. 1), по мере приближения к краю диска соответствие значительно ухудшается.

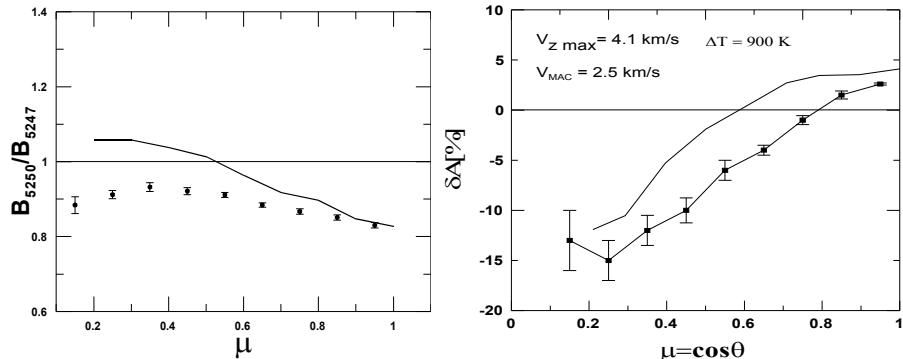


Рис. 1. Сравнение наблюдаемых (точки с барами ошибок) и расчетных (сплошные линии) центро-лимбовых вариаций отношения напряженностей в линиях FeI 5250 и FeI 5247 (левая панель) и асимметрии площади крыльев  $V$ -параметра Стокса FeI 5250 (правая панель)

В 2015 г. были продолжены работы по проектированию национального российского крупного солнечного телескопа с диаметром зеркала 3 м. Предварительные разработки оптических и габаритных схем представлены в [2].

### Публикации

1. Demidov M.L., Veretsky R.M., Kiselev A.V. On the peculiarities of manifestation of the kG magnetic elements in observations of the Sun with low spatial resolution // Proceedings of the 305<sup>th</sup> Symposium of the International Astronomical Union “Polarimetry: From the Sun to Stars and Stellar Environments / eds. K.N. Nagendra, St. Bagnulo, R. Centeno, M.J.M. Gonzalez. Cambridge University Press. 2015. pp. 86–91.

2. Демидов М.Л., Григорьев В.М., Чупраков С.А., Колобов Д.Ю., Скоморовский В.И., Ковадло П.Г., Пуляев В.А. Проект национального российского крупного солнечного телескопа с диаметром зеркала 3 м // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». 2015. Вып. 8. С. 55–67.

### Асинхронность обращения полярных магнитных полей Солнца и нарушение закона Джоя в текущем цикле

Установлено, что причина асинхронности обращения полярных магнитных полей Солнца связана с северо-южной асимметрией его магнитной активности (рис. 2, *a*, *в*). Широтно-временной анализ (рис. 2, *б*) показывает обращение полярных магнитных полей в текущем цикле. Обнаружено, что униполярные магнитные области (УМО) хвостовых полярностей образовались после распада активных областей, наклоны которых соответствовали закону Джоя: ведущие пятна ближе к экватору, чем хвостовые. УМО ведущих полярностей (пунктирные стрелки) возникли после распада активных областей, в которых нарушался закон Джоя: ведущие пятна были расположены дальше от экватора, чем хвостовые.

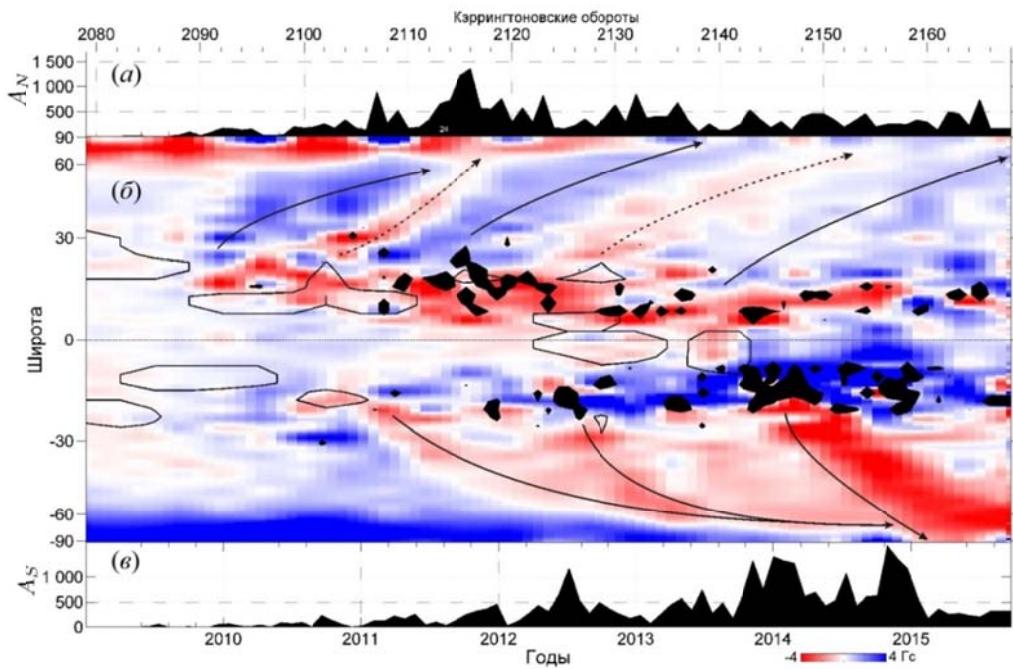


Рис. 2. Изменения площадей пятен в северном (а) и южном (в) полушариях Солнца, (б) — широтно-временная диаграмма магнитных полей (красно-синяя шкала, Гс) и зоны интенсивного пятнообразования (черная заливка). Сплошные и пунктирные стрелки указывают УМО хвостовых и ведущих полярностей. Контурами показаны области, в которых нарушился закон Джоя

### Публикации

1. Mordvinov A.V., Grigoryev V.M., Erofeev D.V. Evolution of sunspot activity and inversion of the Sun's polar magnetic field in the current cycle // Advances in Space Research. 2015. V. 55. P. 2739.
2. Мордвинов А.В., Головко А.А., Язев С.А. Комплексы активности и инверсия магнитного поля на полюсах Солнца в текущем цикле // Солнечно-земная физика. Вып. 25. 2014 (вышел в 2015 г.) С. 3–9.
3. Tlatov A.G., Dormidontov D.V., Kirpichev R.V., Pashchenko M.P., Shramko A.D., Peshcherov V.S., Grigoryev V.M., Demidov M.L., Svidskii P.M. Study of some characteristics of large scale solar magnetic fields during the global field polarity reversal according to observations at the telescope magnetograph Kislovodsk Observatory // Geomagnetism and Aeronomy. 2015. Vol. 55. P. 969–975.

### Интерпретация аномальной поляризации радиоизлучения с привлечением данных о восстановленном корональном магнитном поле

Для объяснения аномальной круговой поляризации радиоизлучения над хвостовым пятном АО 11734, зарегистрированной на ССРТ 3–5 мая, проведено восстановление коронального магнитного поля данной АО в нелинейном бессиловом приближении. Согласно результатам расчетов, нейтральная линия компоненты расчетного поля, направленной вдоль луча зрения, с увеличением высоты постепенно смещается в сторону хвостового пятна, в результате на высоте около 50 Мм над хвостовым пятном образуется область квазиперечного магнитного поля. В предположении, что проходящее через эту область радиоизлучение меняет знак поляризации, проведено моделирование радиоизлучения с использованием информации о восстановленном поле в качестве одного из входных параметров. Построенные модельные карты радиоизлучения повторяют зарегистрированную пространственную структуру поляризации. Привлечение для моделирования потенциального поля не позволило получить согласующейся с наблюдениями картины.

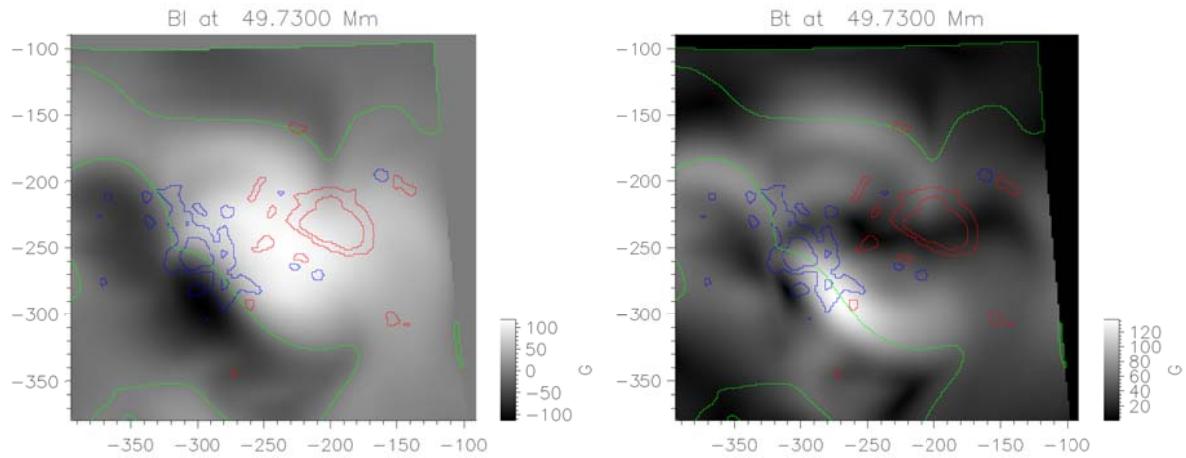


Рис. 3. Распределение восстановленного магнитного поля на высоте  $\sim 50$  Мм 4 мая 2013 г. на момент времени 5:00 UT, проецированное на картинную плоскость: слева — компонента вдоль луча зрения, справа — модуль поперечного поля. Синие и красные контуры отмечают отрицательную и положительную полярность на уровне фотосферы соответственно. Зеленым отмечена нейтральная линия на указанной высоте

### Публикация

Кальтман Т.И., Кочанов А.А., Мышияков И.И., Максимов В.П., Просовецкий Д.В., Тохчукова С.Х. Наблюдения и моделирование пространственного распределения и спектра микроволнового излучения активной области NOAA 11734 // Геомагнетизм и Аэрономия. 2015. Т. 55, № 8. С. 1–7.

### Взаимодействие осесимметричных и неосесимметричных мод магнитного поля Солнца

При помощи нелинейной неосесимметричной модели солнечного динамо исследовано взаимодействие глобальных мод крупномасштабного магнитного поля в цикле активности. Впервые исследовано влияние магнитной спиральности на взаимодействие крупномасштабных мод магнитного поля. Показано, что неосесимметричные магнитные поля, наблюдаемые на фотосфере, локализованы неглубоко под поверхностью. Наибольший эффект на цикл глобальных полей оказывают неосесимметричные возмущения на фазе роста торoidalного магнитного поля [1, 2]. На рис. 4 показан отклик солнечного динамо на неосесимметричное возмущение радиального поля амплитудой около 10 Гс. Асимметрия возмущения по полушариям приводит к разному развитию переполюсовки полярного магнитного поля.

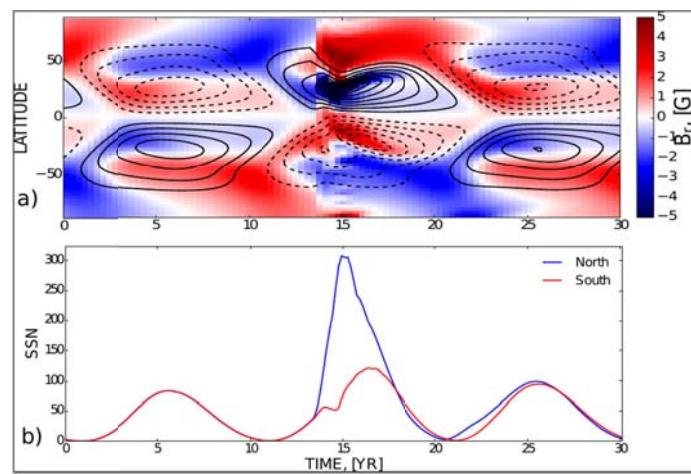


Рис. 4. Широтно-временные изменения (а) торoidalного (контуры) и радиального (сине-красные) магнитного поля; Расчетная амплитуда числа пятен Вольфа по модели в северном (синий) и южном полушарии (б)

Исследовано влияние магнитной спиральности на эволюцию неосесимметричных мод. Показано, что во время транзитной фазы развития возмущения сохранение магнитной спиральности приводит к переносу спиральности по спектру от глобального осесимметричного поля к неосесимметричным модам. Обратный процесс происходит при затухании неосесимметричных мод.

Результаты моделирования показали, что глобальные неосесимметричные моды  $m=1$  имеют твердотельное вращение, несмотря на динамическую эволюцию общего распределения неосесимметричного поля за счет дифференциального вращения и других процессов солнечного динамо.

#### ***Публикации***

1. Pipin V.V., Kosovichev A.G. Effects of large-scale non-axisymmetric perturbations in the mean-field solar dynamo // *Astrophys. J.* 2015. V. 813. P. 134.
2. Pipin V.V. Dependence of magnetic cycle parameters on period of rotation in non-linear solar-type dynamos // *MNRAS*. 2015. V. 451. P. 1528.

#### **Гистерезис в динамо как возможная причина двух различных режимов солнечной активности**

Предложено объяснение различия режимов солнечной активности в глобальных минимумах и вне их. Два режима активности можно объяснить гистерезисом: наличием двух решений уравнений динамо с существенно различающимися амплитудами магнитных циклов, реализующихся в зависимости от начальных условий. Флуктуации параметров динамо приводят к нерегулярным переходам между различными решениями. В текущем году гистерезис в динамо был подтвержден трехмерными численными экспериментами, которые, однако, связаны с большими затратами машинного времени и не позволяют рассчитать достаточное количество магнитных циклов для определения их статистических свойств. Такую возможность представляет простое приближение динамо-волн, в котором было рассчитано около миллиона магнитных циклов, функция распределения амплитуд которых подтверждает существование двух мод для солнечной активности.

#### ***Публикации***

1. Karak B.B., Kitchatinov L.L., Brandenburg A. Hysteresis between distinct modes of turbulent dynamos // *Astrophys. J.* 2015. V. 803. P. 95.
2. Кичатинов Л.Л., Непомнящих А.А. Параметрическая модуляция динамо-волн // Письма в АЖ. 2015. Т. 41. С. 409.

### **3.2 Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере**

#### **Пополнение архивов данных радионаблюдений на оптических носителях. Каталоги данных наблюдений вспышек, событий с тонкой временной структурой, выбросов корональной массы**

Радиоастрофизическая обсерватория (РАО) «Бадары» ИСЗФ СО РАН расположена в 230 км от Иркутска в урочище Бадары Тункинского района Республики Бурятия. В 2015 г. продолжалась реконструкция основного инструмента обсерватории, Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ), с целью расширения диапазона рабочих частот до 4–8 ГГц, что позволит на современном уровне решать задачи по магнитографии короны Солнца. Кроме того, для исследований взрывных процессов в атмосфере Солнца будет повышено временное разрешение двумерных наблюдений на два порядка, до 1 с. В 2015 г. получены первые изображения Солнца, проводятся пробные наблюдения. Отрабатываются методики калибровки. Мониторинг вспышечной активности Солнца выполнялся ежедневно в течение светового дня (от 6 ч в зимние месяцы до 10 ч в летние) с помощью ССРТ и спек-

трополяриметров в диапазоне частот от 50 МГц до 24 ГГц. Данные наблюдений (рис. 5) и каталоги доступны по адресу <http://badary.iszf.irk.ru/>.

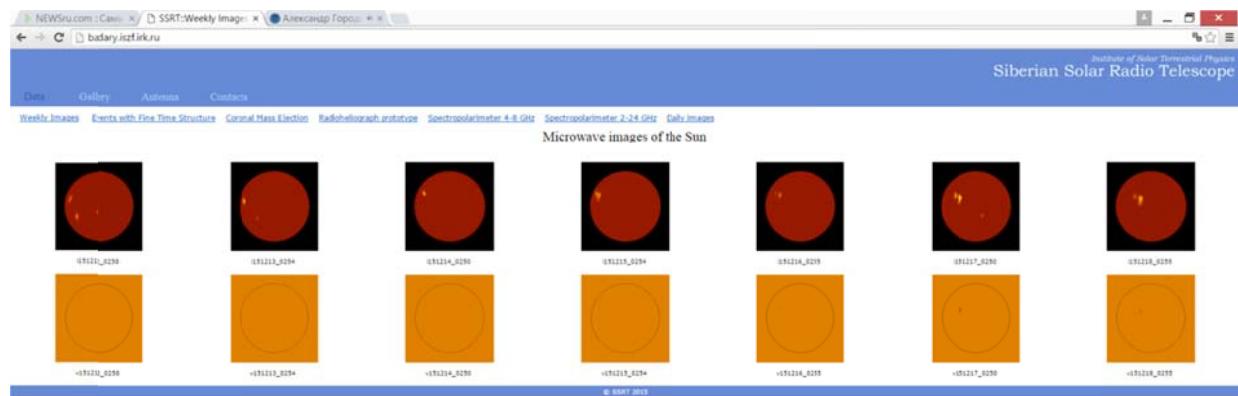


Рис. 5. Скриншот сайта Радиоастрофизической обсерватории с ежедневными изображениями диска Солнца на частоте 5.7 ГГц: верхний ряд — интенсивность; нижний — круговая поляризация

Одним из немногих источников информации о процессах первичного энерговыделения, которые связывают с процессами магнитного пересоединения в токовых слоях, являются субсекундные узкополосные импульсы микроволнового излучения. В рамках проекта используются оригинальные данные Бадарского широкополосного спектрополяриметра (Badary Broadband Microwave Spectropolarimeter) на диапазон частот 3.8–8.2 ГГц и Сибирского солнечного радиотелескопа, работающего на частоте около 5.7 ГГц. Частота излучения субсекундных импульсов близка к удвоенной плазменной частоте в источнике. На частоте 5.7 ГГц субсекундные импульсы удавалось зарегистрировать в десятой доле континуальных вспышечных всплесков. С расширением полосы приема до 4.4 ГГц субсекундные импульсы удаётся зарегистрировать примерно в половине событий. Мало того, ряд субсекундных импульсов удалось зарегистрировать без континуальных всплесков. Этот результат подтверждает, что излучение субсекундных импульсов является откликом на элементарные акты энерговыделения.

### **Публикация**

Zhdanov D.A., Zandanov V.G. Observations of microwave fine structures by the Badary Broadband Microwave Spectropolarimeter and the Siberian Solar Radio Telescope // Solar Phys. 2015. V. 290. P. 287–294.

### **Результаты анализа данных наблюдений ряда вспышек, в которых наблюдались разные знаки поляризации на высоких частотах**

Было выбрано событие, в континуальном излучении которого наблюдалось обращение поляризации в интервале частот между 17 и 34 ГГц. Анализ комплекса данных показал, что обращение связано с питч-угловой анизотропией излучающих электронов. Первые результаты были доложены на международной конференции.

### **Публикация**

Altyntsev A.T., Fleishman G.D., Kashapova L.K., Meshalkina N.S., Myshyakov I.I. Palshin V.D. Two-loop flare SOL2012-07-06: relationship between heating, acceleration and circular polarization sign inversion in microwaves // RadioSun-4 Workshop, 8–12 June 2015, ISTP, Irkutsk, Russian).

## **Расширение возможностей вычислительных методов расчета микроволнового излучения в нестационарных процессах**

Решение многих проблем физики Солнца требует анализа изображений, полученных в различных диапазонах и дающих возможность изучать нестационарные процессы методами трехмерного моделирования. С этой целью развиваются пакеты программ, позволяющие моделировать микроволновое и рентгеновское излучение. Архитектура программного обеспечения, развитая на основе IDL, позволяет пользователю: 1) импортировать фотосферные магнитные поля и делать их экстраполяцию в корону; 2) исследовать магнитную топологию интерактивно созданных магнитных силовых линий и ассоциированных с ними магнитных петель; 3) заполнять петли неоднородной плазмой и ускоренными электронами с заданными параметрами; 4) исследовать пространственные и спектральные характеристики радио- и рентгеновского излучения; 5) сравнивать модельные и наблюдательные изображения. Программное обеспечение интегрирует коды расчета гироинхротронного и тормозного микроволнового излучения, расчета мягкого и жесткого рентгеновского излучения, программы экстраполяции магнитного поля в корону в линейном и нелинейном бессиловом приближениях. Программное обеспечение оттестировано на относительно простых однопетельных конфигурациях.

Радионаблюдения часто показывают периодические и квазипериодические осцилляции в световых кривых. Можно предполагать, что их появление связано с магнитогидродинамическими колебаниями вспышечных петель. Для идентификации мод колебаний необходимо моделирование. Рассмотрена модель гироинхротронного излучения из полупетли, в которой возбуждены сосисочные колебания. Рассмотрены обе моды — стоячая и бегущая. Модель также предусматривает разные углы наблюдения относительно ориентации петли. В случае низкой плотности плазмы колебания интенсивности излучения синхронизированы на всех частотах выше спектрального пика. В случае высокой плотности плазмы эффект Резина приводит к противофазе на относительно низких частотах. Дополнительные особенности вносит эффект обращения поляризации при определенных ориентациях петли.

### ***Публикации***

1. Kuznetsov A.A., Van Doorsselaere T., Reznikova V.E. Simulations of gyrosynchrotron microwave emission from an oscillating 3d magnetic loop // Solar Physics. 2015. V. 290, iss. 4. P. 1173–1194.
2. Nita G.M., Fleishman G.D., Kuznetsov A.A., Kontar E.P., Gary D.E. Three-dimensional radio and X-ray modeling and data analysis software: revealing flare complexity // Astrophys. J. 2015. V. 799. Id. 236. P. 15.
3. Reznikova V.E., Van Doorsselaere T., Kuznetsov A.A. Perturbations of gyrosynchrotron emission polarization from solar flares by sausage modes: forward modeling // Astronomy & Astrophysics. 2015. V. 575. Id. A47, P. 9.

## **Новые знания о характеристиках нетепловых электронов, генерируемых во время солнечных вспышек**

Жесткое рентгеновское и гамма-излучение в диапазоне 0.04–150 МэВ, ассоциированное со вспышкой 29 октября 2003 г. (Х10/3В), наблюдалось в 20:38–20:58 UT с помощью спектрометра СОНГ на борту КОРОНАС-Ф. Сравнение энергетических спектров, построенных по данным СОНГ и RHESSI, показало их близость в диапазоне 0.1–10 МэВ. Были выделены две стадии в развитии спектров: 20:38:00–20:44:20 UT и 20:44:20–20:58:00 UT. Во время второй стадии выросла эффективность ускорения протонов относительно ускорения электронов высоких энергий. В частности, линия пионного распада статистически значима только во второй фазе вспышки. Оценка степенного индекса протонов по отно-

шению пионной и гамма-линий дает значение 3.7. Изменения в характеристиках ускорения согласуются с синхронными изменениями в пространственной структуре вспышки. Вспышка ассоциируется с GLE 66. Показано, что времена старта GLE и появления пионной линии согласуются.

### **Публикация**

Kurt V.G., Yushkov B.Yu., Kudela K., Galkin V.I., Kashapova L.K. CORONAS-F observation of HXR and gamma-ray emissions from the solar flare X10 on 29 October 2003 as a probe of accelerated proton spectrum // Contributions of the Astronomical Observatory SkalnatéPleso. 2015. V. 45. P. 42–59.

### **Результаты о природе инжекции и эффектах распространения нетепловых электронов**

На примере вспышки 21 мая 2004 г. с простой однопетельной конфигурацией проведено сравнение данных микроволновых наблюдений с модельными, рассчитанными с помощью разработанной интерактивной IDL-технологии GX Simulator. Сравнительный анализ позволил определить пространственные и спектральные свойства распределения нетепловых электронов. Было показано, что излучение генерируется высокоэнергичными электронами с относительно жестким спектром, сконцентрированными вблизи вершины петли. В то же время поток электронов с энергией более 100 кэВ вблизи оснований был слишком мал, чтобы они могли быть зарегистрированы в интегральном потоке и на изображениях RHESSI. Изображения SOHO в вакуумном ультрафиолете и особенности низкочастотной части микроволновых спектров дают основание предполагать, что вспышечная петля погружена в среду с меньшим магнитным полем. Скорее всего, распределение энергичных электронов в рассматриваемой вспышке формируется в результате локализованного ускорения/инжекции электронов в вершине петли с последующими процессами захвата и рассеяния.

### **Публикация**

Kurt V.G., Yushkov B.Yu., Kudela K., Galkin V.I., Kashapova L.K. CORONAS-F observation of HXR and gamma-ray emissions from the solar flare X10 on 29 October 2003 as a probe of accelerated proton spectrum // Contributions of the Astronomical Observatory SkalnatéPleso. 2015. V. 45. P. 42–59.

### **Высотная стратификация пространственного распределения мощности низкочастотных осцилляций (0.7–2 мГц) лучевой скорости и интенсивности в активных областях**

Параметры плазмы активных областей изучены недостаточно, и имеющиеся модели высотного распределения плотности и температуры отличаются друг от друга. Колебания пятна с периодами около 3 мин. позволяют оценивать скорость распространения волн и сравнивать ее с скоростью звука, рассчитываемой по модели. Разработан сейсмологический метод измерения высотного расстояния и средней скорости звука между слоями атмосферы тени солнечного пятна, наблюдаемыми на разных длинах волн. Предложенная методика позволяет оценить эти величины, не вводя дополнительных предположений о скорости звука или высотах формирования излучения. С использованием данной методики получены оценки расстояния между излучающими слоями в температурном минимуме (1600 Å) и в переходной зоне (304 Å) над тенью солнечных пятен в трех активных областях: NOAA 11131, 11582, 11711. Также получены оценки значения средней скорости звука. Среднее расстояние между температурным минимумом и переходной зоной составило

около 500–800 км, а соответствующая средняя скорость звука 30 км/с, что близко к средней скорости звука в солнечной атмосфере. Полученные данные согласуются с моделью Fontenla et al. [ApJ. 707, 482, 2009].

### **Публикация**

Deres A.S., Anfinogentov S.A. Measurement of the formation heights of UV and EUV emission above sunspot umbrae from observations of three-minute oscillation // Astronomy Reports. 2015. V. 59. P. 959–967.

### **Многоволновые измерения характеристик распространяющихся колебаний. Экспериментальные оценки наклона магнитного поля на внешней границе солнечного пятна**

В физике солнечной активности одним из важнейших является вопрос о механизмах инициации солнечных вспышек. Предполагается, что перед вспышкой в атмосфере активных областей формируются метастабильные токовые системы, которые способны к быстрой перестройке в состояние с меньшей энергией с конверсией части энергии непотенциального магнитного поля в энергию частиц плазмы и излучение. Одним из механизмов запуска или накачки энергии в область вспышечного энерговыделения могут являться магнитозвуковые волны [Nakaryakov et al., A&A, 452, 343, 2006; Sych et al., A&A, 505, 791, 2009]. В исследованиях пространственной структуры 3-минутных колебаний в солнечных пятнах было обнаружено, что они распространяются в окружающую атмосферу по каналам — магнитным трубкам. Оказалось, что такие каналы могут замыкаться на области, в которых инициируются солнечные вспышки. Для исследования была выбрана вспышка 7 июня 2012 г. с максимумом в 05:56 UT и мощностью C1.5, перед которой на корреляционных кривых радиогелиографа Нобеяма наблюдались колебания с периодом около 3-мин. Флуктуации корреляционных кривых отражают изменения структуры и интенсивности излучения компактных источников на частоте 17 ГГц. Было обнаружено, что амплитуда колебаний росла в течение 30 мин. перед вспышкой. Пространственно-временные распределения амплитуд волн в радио- и ультрафиолетовом излучении (SDO/AIA 94 и 171 Å) были получены с помощью метода пиксельной вейвлет-фильтрации. Показано, что 3-мин. колебания генерировались в пятне и распространялись по выбранным направлениям — магнитным каналам. Магнитные каналы идентифицировались с помощью реконструкции магнитного поля по данным SDO/HMI-магнитограмм в потенциальном приближении. Другой особенностью исследуемой вспышки являлся относительно длительный период рентгеновского излучения в диапазоне 3–25 кэВ, зарегистрированного на RHESSI, который практически не менялся в течение 10 мин. после короткой импульсной фазы. Излучение с энергиями несколько кэВ в течении длительного времени указывает на продолжение нагрева вспышечной плазмы в этой стадии. Во время этой стадии были обнаружены (в последовательностях изображений на частоте 17 ГГц) поперечные колебания вспышечной петли с периодом около 30 с. Можно заключить, что вспышка была инициирована потоком энергии из пятна, перенос которой осуществлялся продольными магнитозвуковыми волнами. После импульсной фазы наблюдалась трансформация их энергии в поперечные колебания и нагрев плазмы.

При исследовании поперечных колебаний использовались последовательности изображений в линии 171 Å, построенные по данным SDO/AIA. Особое внимание было обращено на колебания, возбуждение которых не было связано с импульсными воздействиями солнечных вспышек или выбросов корональной массы. Была изучена 21 активная область 2013 г. Интервал наблюдений каждой активной области, в течение которого строились пространственно-временные распределения, составлял 6 ч. Удавалось выделить колебания с периодами от 1.5 до 10 мин. Затем были измерены период и амплитуда колебаний, а также длины колеблющихся петель. Основной результат заключается в том, что незату-

хающие поперечные колебания корональных петель постоянно наблюдаются практически в любой активной области. Скорее всего, они являются стоячими волнами. Этот вывод подтверждается выраженной зависимостью периода колебаний от длины петли, а также тем, что колебания с максимальной амплитудой наблюдаются в вершине петли. Кинк-мода является чувствительной к магнитному полю и плотности плазмы, поэтому обнаруженный режим поперечных колебаний может быть использован для сейсмологической диагностики активных областей, а его повсеместное распространение позволяет проводить такую диагностику практически любой активной области в любое время.

Высотные разрезы пространственной локализации частотных мод в активных областях позволяют проследить путь волновых возмущений (рис. 6). В дальнейшем это может быть использовано для определения угла наклона линий магнитного поля в переходной зоне и нижней короне альтернативным методом, что недоступно пока прямым измерениям. Установлено, что на фотосферном уровне низкочастотные колебания в пятнах сосредоточены в полутени, образуя кольцевую зону, которая с высотой расширяется. При этом высокочастотные колебания (5–7 мГц) на всех уровнях высоты сконцентрированы в фрагментах, расположенных внутри области, ограниченной фотосферными границами тени.

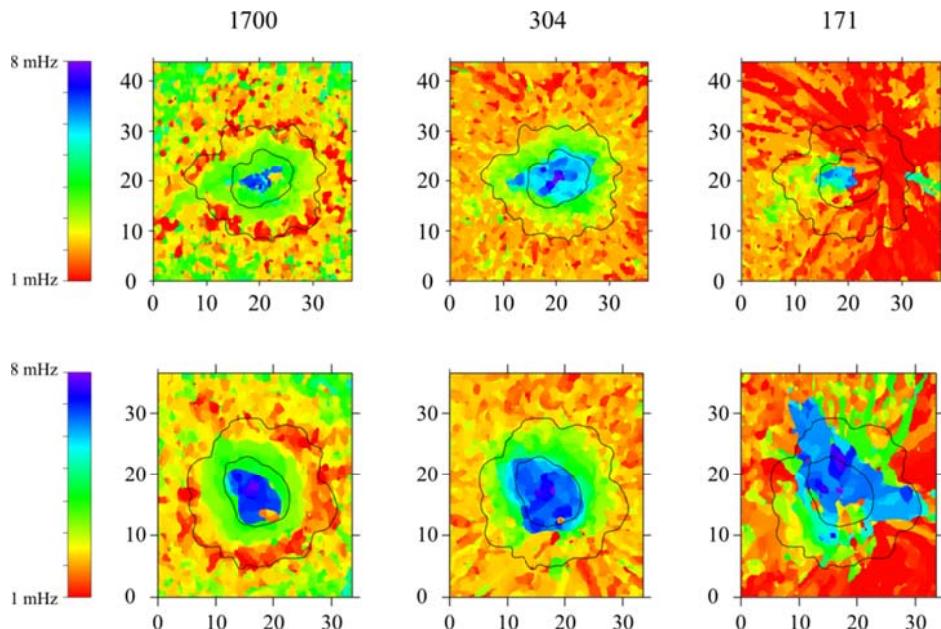


Рис. 6. Пример пространственной локализации колебаний в двух пятнах

В короне пространственная локализация низкочастотных колебаний над пятнами и факелами хорошо воспроизводит веерные структуры петель. Это свидетельствует о том, что вершины большинства корональных петель, по которым распространяются колебания с периодами 10–20 мин, лежат в слое формирования Fe IX 171 Å, тогда как колебания с периодами 3 мин. и короче, возможно, проникают в более высокие слои короны. Полученные из наблюдений зависимости «доминирующая частота vs расстояние от барицентра пятна» могут быть использованы для определения угла наклона магнитных трубок в более высоких слоях, недоступных для прямых измерений магнитного поля. Согласно выполненным вычислениям, в переходной зоне этот наклон составляет  $50^\circ$  вблизи границы тени.

В нижних слоях атмосферы факелов спектральный состав колебаний интенсивности и лучевой скорости значительно различается: в спектре первых преобладают колебания с частотами 0.7–1.2 мГц, а в спектрах вторых — пятиминутные колебания. Такие спектры характерны как для наземных, так и космических наблюдений. Отсутствие соответствующих пиков в спектрах вариаций лучевой скорости может свидетельствовать о том, что в наблюданной области одновременно существуют два разных типа колебаний. Амплитуда колебаний интенсивности над факельными областями максимальна в переходной зоне

(He II 304 Å). Фазовые скорости, измеряемые в вершинах корональных петель на уровне формирования Fe IX 171 Å, достигают 100–150 км/с для пятен и 50–100 км/с для факелов. При этом ошибка определения составляет 30–40 %.

### **Публикации**

1. Anfinogentov S.A., Nakariakov V.M., Nisticò G. Decayless low-amplitude kink oscillations: a common phenomenon in the solar corona? // *Astronomy & Astrophysics*. 2015. V. 583. A136.
2. Chelpanov A.A., Kobanov N.I., Kolobov D.Yu. Characteristics of oscillations in magnetic knots of solar faculae // *Astronomy Reports*. 2015. V. 59. P. 968–973.
3. Kolobov D.Y., Kobanov N.I., Chelpanov A.A., Kochanov A.A., Anfinogentov S.A., Chupin S.A., Myshyakov I.I., Tomin V.E. Behaviour of oscillations in loop structures above active regions // *Advances in Space Research*. arXiv:1505.02857, doi:10.1016/j.asr.2015.05.015. 2015.
4. Kobanov N., Kolobov D., Chelpanov, A. Oscillations Above Sunspots and Faculae: Height Stratification and Relation to Coronal Fan Structure // *Solar Physics*. 2015. V. 290, P. 363–380.
5. Sych R., Karlický M., Altyntsev A., Dudík J., Kashapova L. Sunspot waves and flare energy release // *Astronomy & Astrophysics*. 2015. V. 577. Id. A43, P. 8.
6. Сыч Р. Волны и колебания в атмосфере солнечных пятен: обзор // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 2. С. 3–21.

### **Исследование волновых процессов в солнечной хромосфере по вариациям доплеровской скорости и интенсивности в видимом и ИК-диапазонах, с включением расчетов отклика диагностических спектральных линий на возмущения термодинамических условий**

Для того чтобы оценить траекторию и величину горизонтальной скорости распространения сжимаемых волн в хромосфере, были обработаны и проанализированы спектрограммы, содержащие сильные хромосферные линии H, K и 849.8 нм Ca II. Наблюдения проводились 24.05.06, 12.06.06 и 13.06.06 на горизонтальном солнечном телескопе Саянской солнечной обсерватории. Всего в обработку вошло 15 временных серий продолжительностью от 1600 до 2000 с, полученных на спокойных участках хромосферы, расположенных на различных расстояниях от центра Солнца. Выделение цугов волн выполнялось с помощью вейвлет-анализа колебаний интенсивности в центрах изучаемых линий. В обработку брались только цуги волн, мощность которых определена на уровне значимости 95 % и выше. Были построены графики зависимости времени максимальной мощности цуга от положения на щели спектрографа. Предварительный анализ показал, что траектории цугов вдоль щели свидетельствуют о том, что колебания чаще всего связаны со стоячими волнами, но есть и случаи распространяющихся волн со скоростями порядка скорости звука. Ряд траекторий имеют нелинейную форму, свидетельствующую о движении типа «водоворота».

Была проведена обработка 500 спектрограмм, содержащих линию лития 671 нм, полученных на горизонтальном солнечном телескопе Саянской солнечной обсерватории 26 августа 2014 г. в приполярной и приэкваториальной областях. Интерес к линии лития обусловлен тем, что концентрация изотопов лития на Солнце и звездах тесно связана с первичным нуклеосинтезом и с процессами перемешивания плазмы в их недрах. Путем сравнения эквивалентных ширин слабой линии  $^7\text{Li}$  I 670.78 нм на экваториальном и полярном лимбах Солнца сделана попытка ответить на вопрос, сохранилось ли до настоящего времени возможное в прошлом различие в химическом содержании лития на экваторе и полюсах. Кроме того, в качестве линий сравнения измерены эквивалентные ширины  $W_\lambda$  соседних с линией лития слабых линий — кремния, двух

линий железа, титана и молекулы CN. Они использованы также для поиска возможного различия температур на тех же позициях солнечного диска. Найдено следующее.

Для каждой из шести исследуемых спектральных линий среднее отношение эквивалентных ширин на северном полюсе и восточном лимбе  $R = W_{\lambda}^N / W_{\lambda}^E$  немного отличается от единицы. Для двух из этих линий — CN и Fe I 671.24 нм — различие статистически не значимо (<95 %).

Для четырех из шести линий на уровне значимости не ниже 95 % обнаружено, что эквивалентные ширины вблизи экватора отличаются от таковых вблизи полюса. Отношения эквивалентных ширин на полюсе и экваторе для линий Si I и Fe I 670.74 нм не противоречат предсказаниям элементарной теории кривых роста для случая слабых фотосферных линий и приводят к оценке разности температур ~13 К. Линии Li I и Ti I существенно отклоняются от полученных на основе статических плоскопараллельных одномерных моделей, находящихся в условиях локального термодинамического равновесия (LTE).

Найденное наибольшее среди исследуемых линий различие эквивалентных ширин (~4 %) могло бы интерпретироваться как одно из многочисленных проявлений динамики грануляции. Но современное состояние моделирования фотосферы не позволяет пока сделать окончательные выводы. Не исключено, что, по крайней мере, часть наблюдаемого уменьшения эквивалентной ширины резонансной линии лития на полюсе Солнца обусловлена более быстрым выгоранием лития в полярных областях.

### **Публикации**

1. Теплицкая Р.Б., Ожогина О.А., Пипин В.В. Линия лития 671 нм на полярном и экваториальном краях солнечного диска // Письма в Астрономический Журнал. 2015. № 12. С. 911–922.
2. Турова И.П. Особенности колебаний на разных уровнях солнечной атмосферы в основании корональных дыр // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. 2015. Вып. 8. С. 38–49.
3. Григорьева С.А., Турова И.П., Ожогина О.А. Форма контуров линии K Ca II и колебания в солнечной атмосфере в основании корональной дыры // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. 2015. Вып. 8. С. 50–54.

### **Исследование динамических процессов в корональных дырах (КД)**

Продолжены поиски наблюдательных проявлений альфвеновских волн в основании корональных дыр. Исследованы колебания полуширин спектральных линий Ba II 4554 Å и Ca II 8542 Å в солнечных корональных дырах (рис. 7). Величина наблюдаемых колебаний значительно превосходит значения тепловых уширений, рассчитанных на основе измеренных осцилляций интенсивности, что ставит под сомнение их тепловое происхождение.

Однако однозначному объяснению этих колебаний исключительно проявлениями крутильных альфвеновских волн препятствуют два наблюдательных факта. Во-первых, наблюдения не показывают четко выраженного эффекта «центр-лимб». Во-вторых, колебания наблюдаются как в областях стационарных течений, так и вне их. Это приводит к предположению о существовании других возможных механизмов наблюдаемых периодических уширений. Выявление этих механизмов может стать темой будущих исследований.

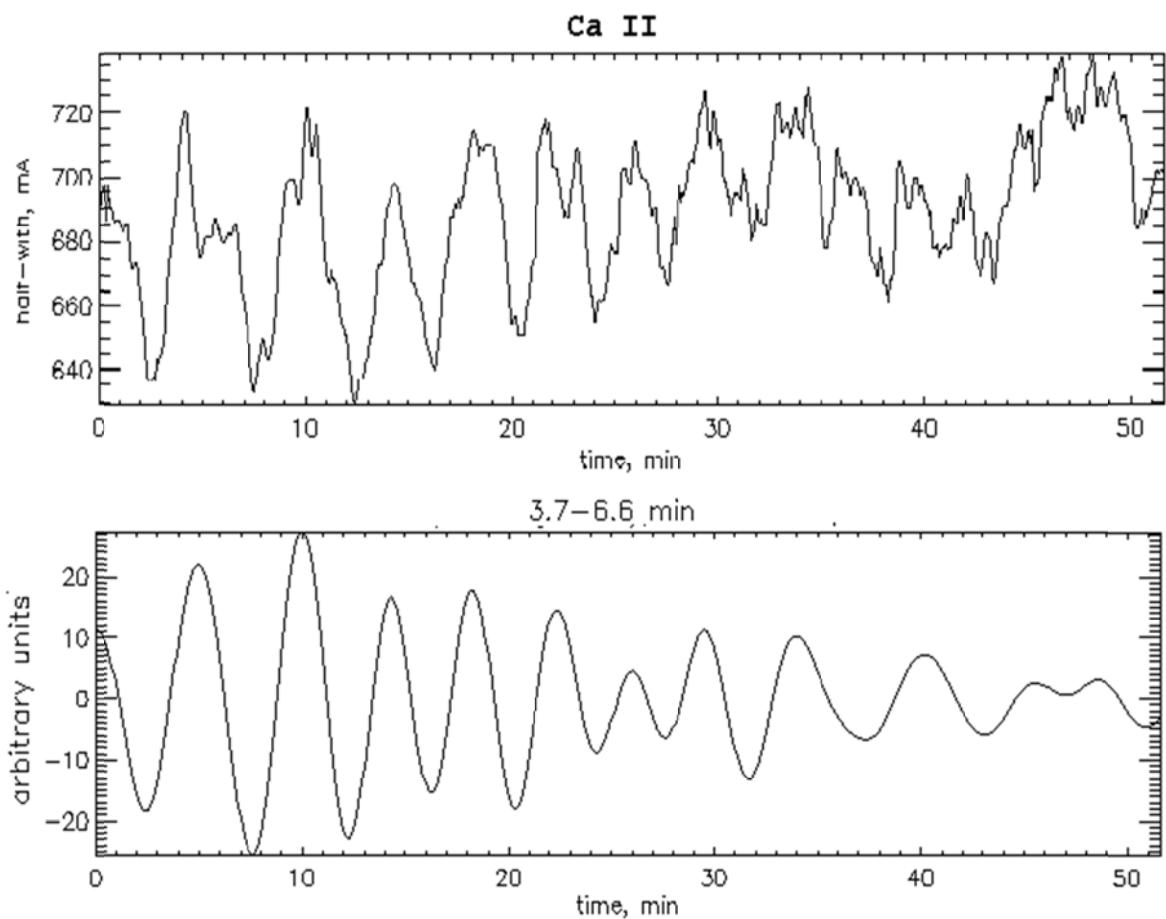


Рис. 7. Периодические колебания полуширины Ca II 8542 Å; вверху — оригинальный сигнал, внизу — фильтрованный в полосе 3.7–6.6 мин.

### 3.3. Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца

#### Наблюдения и моделирование пространственного распределения и спектра микроволнового излучения активной области NOAA 11734

Проведены микроволновые наблюдения солнечной активной области NOAA 11734 (рис. 8) в период с 28 апреля по 8 мая 2013 г. радиотелескопами ССРТ и РАТАН-600. В результате наблюдений получены двумерные распределения параметров Стокса  $I$  и  $V$  (рис. 9) по данным ССРТ на частоте 5.7 ГГц и спектры микроволнового излучения в диапазоне 3–18 ГГц по данным РАТАН-600. Найдено, что хвостовое пятно активной области имело аномальную инверсную поляризацию, соответствующую обычновенной моде радиоизлучения вплоть до 16 ГГц. Для объяснения особенностей радиоизлучения восстановлена структура магнитного поля в нелинейном бессиловом приближении, проведено моделирование свободно-свободного и гирорезонансного радиоизлучения.

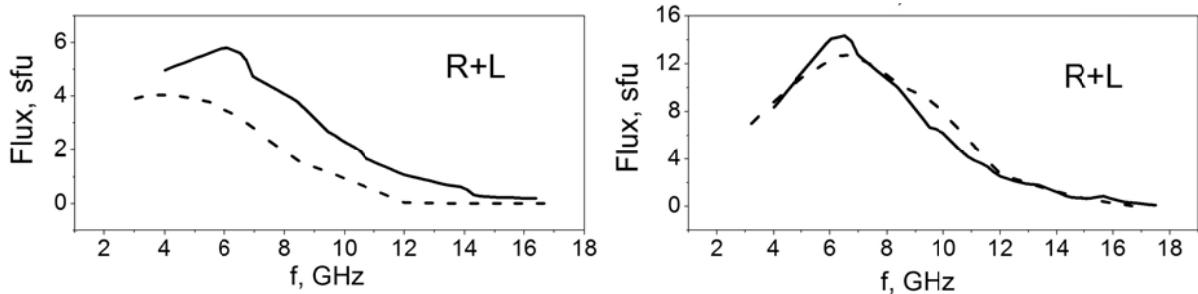


Рис. 8. Спектры радиоизлучения АО 11734 для хвостового (левые панели) и головного (правые панели) пятен: сплошная кривая — наблюдаемый спектр РАТАН-600, штриховая — результат моделирования

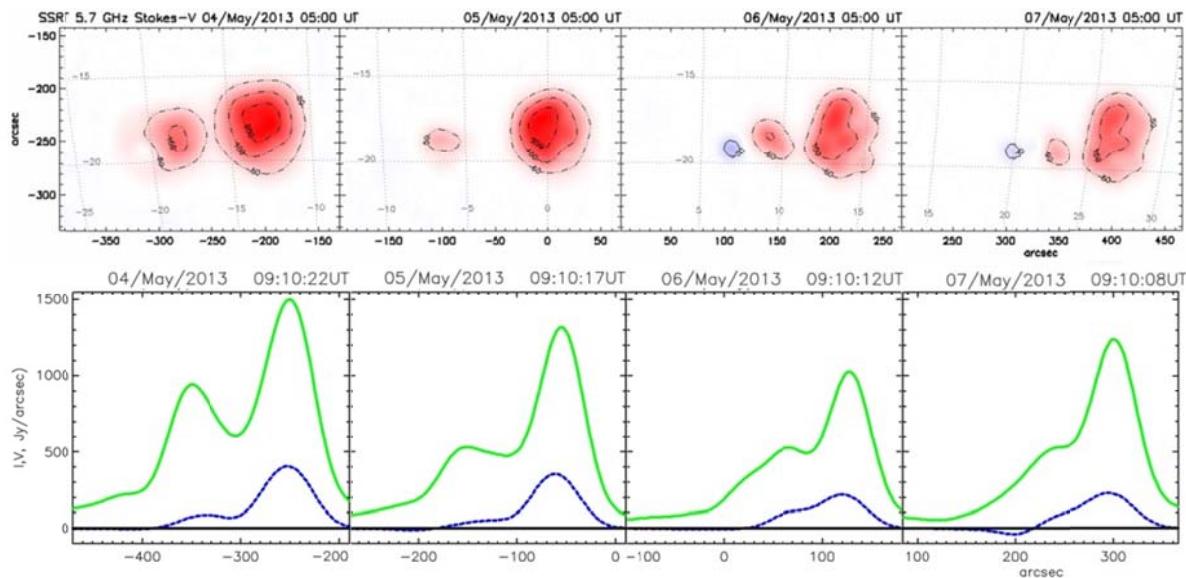


Рис. 9. Двумерное распределение яркостных температур параметра Стокса  $V$  по наблюдениям ССРТ, 5.7 ГГц, для положительных (красный цвет) и отрицательных (синий цвет) значений (верхняя панель). Сканы РАТАН-600 на частоте излучения 5.7 ГГц для полного (параметр Стокса  $I$ , зеленая линия) и поляризованного (параметр Стокса  $V$ , синяя линия) излучения 4, 5, 6 и 7 мая (нижняя панель)

Построены карты модельного распределения яркостных температур обеих круговых поляризаций радиоизлучения, которые повторяют зарегистрированную пространственную структуру поляризации во все дни наблюдений. Анализ наблюдательных данных и моделирование радиоизлучения позволяют объяснить особенности распределения поляризованного излучения в рамках механизма слабого взаимодействия мод радиоизлучения в квазипоперечном магнитном поле над солнечными пятнами.

### Публикация

1. Кальтман Т.И., Кочанов А.А., Мышьяков И.И., Максимов В.П., Просовецкий Д.В., Тохчукова С.Х. Наблюдения и моделирование пространственного распределения и спектра микроволнового излучения активной области NOAA 11734 // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, № 8. С.1124–1130.

### Исследование характеристик и особенностей радиоизлучения усиленной хромосферной сетки Солнца на основе реалистичной МГД-модели

Работа выполнена на основе реалистичной МГД-модели Bifrost солнечной атмосферы, предоставленной широкому кругу исследователей в рамках проекта IRIS. Модель дает подробное пространственное распределение параметров плазмы (плотности, кинетиче-

ской температуры, магнитного поля и др.). Были проведены расчеты поляризованного радиоизлучения участка спокойного Солнца для диапазона длин волн 1.7–30 см. Изучение формирования радиоизлучения данной области позволило оценить относительные вклады теплового тормозного и циклотронного механизмов излучения и выявить некоторые особенности в картине распределения яркостных температур на пространственных масштабах  $\sim 48$  км. Характеристики расчетного излучения оказались соответствующими наблюдательным данным РАТАН-600 и ССРТ для участков спокойного Солнца. Как показало моделирование, для данной модели гирорезонансное излучение, формируясь на границах гранул на высотах до 1 Мм, поглощается в вышележащих слоях и не доступно наблюдению. Тормозное, или свободно-свободное (free-free) тепловое излучение оптически плотно над всей рассчитанной областью с большим разбросом характерных высот, на которых оптическая плотность равна единице (рис. 10). Тонкая структура тормозного излучения зависит от неизотропных физических условий в трехмерной области (рис. 11). Вклад этого типа излучения для исследуемой модели Bifrost оказался  $\sim 100$  %.

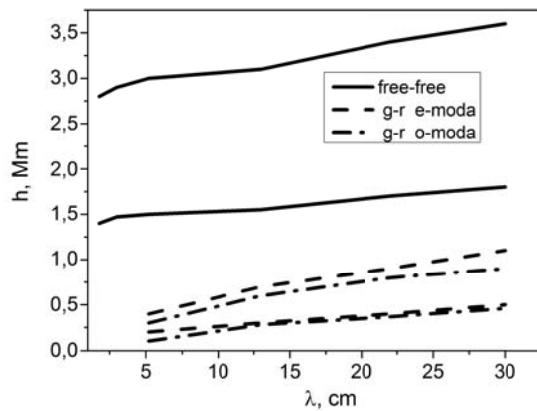


Рис. 10. Характерные высоты формирования микроволнового излучения

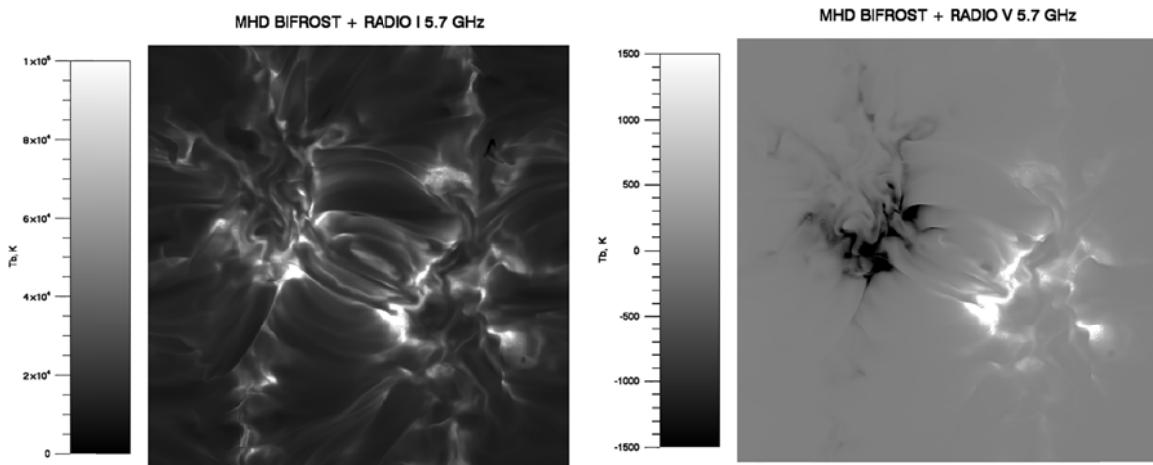


Рис. 11. Двумерное распределение яркостных температур параметров Стокса  $I$  и  $V$  для 5.7 ГГц в МГД-модели Bifrost

Результаты работы послужат основой моделирования радиоизлучения крупномасштабных деталей хромосферной сетки, регистрируемых на РАТАН-600 и ССРТ.

### Публикация

Кальтман Т.И., Кочанов А.А. Исследование характеристик и особенностей радиоизлучения усиленной хромосферной сетки Солнца на основе реалистичной МГД-модели // Сборник трудов XIX Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015», С. 189–192, ISBN 978-5-9651-0935-7.

## Синоптические наблюдения Солнца на Сибирском солнечном радиотелескопе

Синоптические наблюдения Солнца на временных масштабах от одного солнечного оборота до нескольких десятков лет обеспечивают возможность проведения систематических исследований физических процессов, происходящих в недрах Солнца, короне и межпланетном пространстве. Главными поставщиками долговременных рядов солнечных данных по-прежнему являются наземные обсерватории. Наземные инструменты могут функционировать десятки лет, оперативно подстраивая наблюдательные программы и режимы работы к изменениям в понимании солнечных явлений.

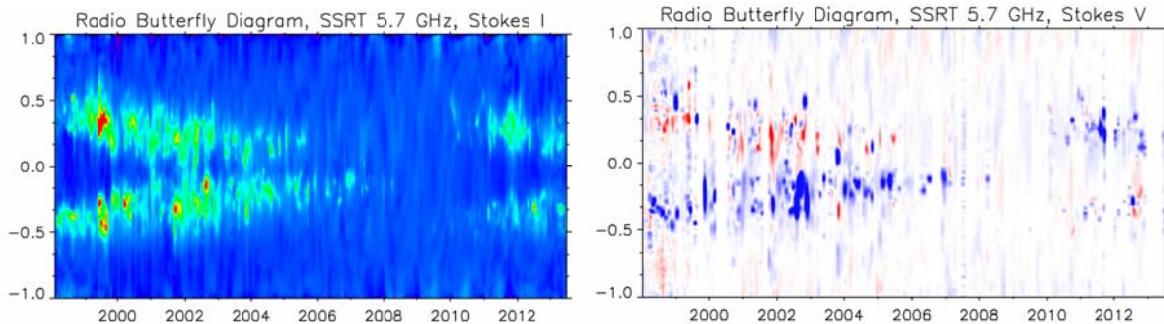


Рис. 12. Широтно-временная диаграмма микроволнового излучения в 23-м и 24-м циклах солнечной активности: левая панель — параметр Стокса  $I$ ; правая панель — параметр Стокса  $V$

Нами впервые синтезированы синоптические карты радиоизлучения Солнца на частоте 5.7 ГГц в интенсивности и круговой поляризации. Карты созданы на основе долговременных наблюдений Солнца на Сибирском солнечном радиотелескопе в период с 1998 по 2013 г. Эти карты представляют долготно-широтные распределения (рис. 12) солнечно- го микроволнового излучения в 23-м и 24-м циклах активности и несут новую информацию об особенностях излучения активных областей, крупномасштабных источников теплового радиоизлучения, протуберанцев в короне Солнца. Общая структура распределения микроволнового излучения в циклах активности соответствует долговременным магнитографическим и оптическим наблюдениям. Разработанные методики будут использованы в синоптическом мониторинге на новом многоволновом радиогелиографе ССРТ.

## Модель спокойной солнечной короны

Создана модель короны спокойного Солнца, удовлетворяющая наблюдательным данным излучения радиоволн в диапазоне 1–100 см и интенсивности корональных эмиссионных линий УФ-диапазона. При этом было найдено новое решение уравнения населенности уровней с применением стабилизирующих коэффициентов, имеющих вероятностный характер. Сравнение расчетных и наблюдательных данных по большому числу эмиссионных линий показало их хорошее согласие и в то же время позволило выявить ряд линий с неточными атомными данными, а также продемонстрировало необходимость корректировки расчетов фракционной ионизации для одного иона. Полученное решение по расчету населенности уровней обеспечивает повышение точности диагностики плотности плазмы, нахождение меры эмиссии и температуры изотермальной плазмы. При расчетах интенсивности корональных линий по диску Солнца и над лимбом была применена зависимость избыточности элементов от температуры и давления в петлях модельной короны, что позволило определить среднюю величину избыточности по линии зрения в ближней короне. Это, в свою очередь, может быть использовано для улучшения диагностических процедур.

## Публикация

Криссинель Б.Б. Моделирование структуры спокойных участков атмосферы Солнца, соответствующей излучению в диапазоне волн 1–100 см // Астрономический журнал. 2015. Т. 92, № 1. С. 1–14.

## Исследование характеристик квазистационарных потоков солнечного ветра

Были исследованы характеристики неоднородностей в потоках солнечного ветра на расстояниях от 3 до 15 солнечных радиусов по данным STEREO. Определялись такие параметры неоднородностей, как форма, размеры, время формирования, изменение скорости и ускорения (рис. 13). Проведено сравнение полученных значений для полярных и низкоширотных областей солнечной короны. Найдено, что потоки СВ испытывают значительные изменения скорости с ускорениями обоих знаков в полярных и низкоширотных областях короны, что может быть объяснено наличием МГД-сил, действующих на потоки СВ, и формированием турбулентности на фронтах потоков. Были исследованы источники неоднородностей и возможные области их образования по данным AIA/SDO и EUVI/STEREO.

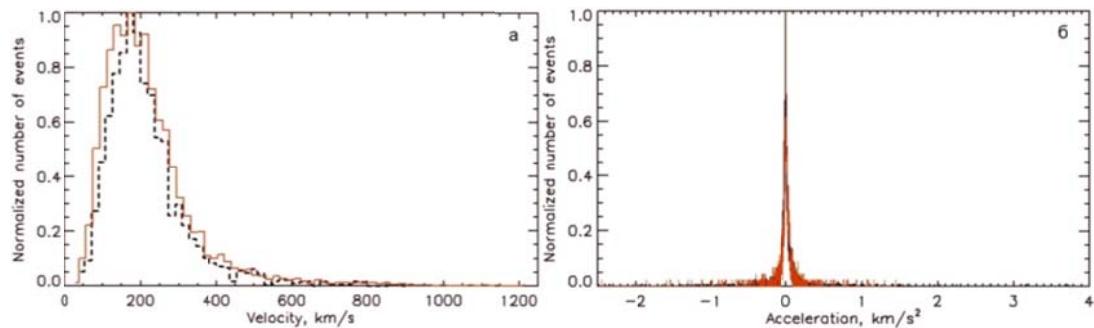


Рис. 13. Нормализованная гистограмма скоростей (а) и ускорений (б) СВ в полярных и низкоширотных областях солнечной короны. Красным цветом показаны результаты для полярных областей, черным — для низкоширотных

### Публикация

Кудрявцева А.В., Просовецкий Д.В. Источники мелкомасштабных неоднородностей в солнечном ветре и динамические параметры потоков солнечного ветра во внешней короне Солнца // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды. XIV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», Иркутск, 2015. С. 33–35.

## Совместный анализ магнитных свойства и излучения в линии He II 304 Å тени магнитно-связанных пятен

Для групп пятен 24-м солнечного цикла с использованием данных SDO/HMI и SDO/AIA были проанализированы магнитные свойства и излучение в линии He II 304 Å отдельно для тени ведущих и замыкающих магнитно-связанных пятен, расположенных вблизи центрального меридиана. Обнаружено, что в  $\approx 78\%$  случаев минимальный ( $\alpha_{\min}$ ) и в  $\approx 83\%$  средний ( $\langle\alpha\rangle$ ) угол между силовыми линиями поля и радиальным направлением из центра Солнца в ведущих пятнах меньше, чем в замыкающих. Показано, что для обоих типов пятен существует положительная корреляция между максимумом магнитной индукции  $B_{\max}$  и площадью тени пятна  $S$ , а также между средним значением магнитной индукции  $\langle B \rangle$  и  $S$ . Установлено, что связь между  $B_{\max}$  и  $S$ , между  $\langle B \rangle$  и  $S$  различается для ведущих и замыкающих пятен. Обнаружено, что в среднем с ростом  $S$ ,  $B_{\max}$  и  $\langle B \rangle$  значения  $\alpha_{\min}$  и  $\langle\alpha\rangle$  уменьшаются. Показано, что существует положительная корреляция между контрастом  $C_{304\_L}$  в линии He II 304 Å в тени ведущих пятен и  $\langle\alpha\rangle$ , а также между отношением контраста  $C_{304\_L}/C_{304\_F}$  в этой линии в ведущих и замыкающих пятнах и отношением длин  $l_L/l_F$  силовых линий поля, соединяющих пятна двух типов, от пятна до вершины линии.

### Публикация

Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н. Сравнение свойств ведущих и замыкающих солнечных пятен // Геомагнетизм и Аэрономия. 2015. Т. 55, № 1. С. 15–25.

## **Временные вариации магнитного поля в тени одиночных и магнитно-связанных солнечных пятен**

Изучены временные вариации характеристик магнитного поля в тени одиночных и магнитно-связанных ведущих и замыкающих пятен при их прохождении по диску Солнца. Для одиночных пятен изменение их магнитных свойств изучалось на разных стадиях существования пятна: в период после возникновения, в «спокойный» период и на фазе исчезновения. Показано, что в среднем для рассмотренных пятен во время первой фазы максимум  $B_{\max}$  и среднее значение  $\langle B \rangle$  в тени пятна увеличиваются со временем, а  $\alpha_{\min}$  и  $\langle \alpha \rangle$  уменьшаются. На стадии исчезновения наоборот,  $B_{\max}$  и  $\langle B \rangle$  уменьшаются со временем, а  $\alpha_{\min}$  и  $\langle \alpha \rangle$  — увеличиваются. Обнаружено, что для каждого рассмотренного одиночного пятна связь  $B_{\max}$  и  $\langle B \rangle$  с площадью  $S$  тени пятна, определенных в разные моменты времени при прохождении пятен по диску Солнца, близки к полученным ранее авторами зависимостям  $B_{\max}(S)$  и  $\langle B \rangle(S)$  для ведущих пятен из пар магнитно-связанных пятен, располагавшихся вблизи центрального меридиана. На примере активной области (АО) NOAA 11330 показано, что эволюция магнитных свойств тени магнитно-связанных ведущего и замыкающего пятен может носить сложный характер. Ведущее пятно в этой АО оказалось магнитно-связанным не только с замыкающим пятном в этой же АО, но и с замыкающими пятнами соседней АО NOAA 11325. Установлено, что характер магнитной связи между пятнами двух групп заметно меняется со временем и на некотором этапе эволюции активных областей связь между ними исчезает. На конечной стадии эволюции АО NOAA 11330 исчезает замыкающее пятно. По мере движения АО по диску Солнца заметно и достаточно синхронно в тени как ведущего, так и замыкающего пятна, меняются  $B_{\max}$  и  $\langle B \rangle$ , с одной стороны, и  $\alpha_{\min}$ ,  $\langle \alpha \rangle$ ,  $S$  — с другой. Между  $B_{\max}$  и  $S$ , а также между  $\langle B \rangle$  и  $S$  для обоих типов пятен существует положительная корреляция.

### **Публикация**

Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н., Руденко В.Г., Анфиногентов С.А. Вариации магнитного поля в тени одиночных и магнитно-связанных пятен при их прохождении по диску Солнца // Труды XIX Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015» (5–9 октября 2015 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург). 2015. С. 145–148.

## **Изучение потока релятивистских электронов в хромосферу во взрывной части солнечной вспышки**

Исследована причина появления ударной линейной поляризации высокой степени во вспышке балла 2B/4.8X 23 июля 2002 г., наблюдавшейся на Большом солнечном вакуумном телескопе. При спектрополяриметрических наблюдениях этой вспышки была обнаружена ударная линейная поляризация в южной ленте. Максимальная поляризация превысила 10 % и наблюдалась только в течение ~6 мин из почти 2 ч наблюдений вспышки. В течение этого времени профили линии  $\text{H}\alpha$  в южной ленте имели глубокое самообращение в центре. В северной ленте поляризация и самообращение в линии  $\text{H}\alpha$  отсутствовали.

Сопоставление спектрополяриметрических наблюдений на БСВТ с данными Reuven RHESSI показало, что, в отличие от северной ленты, где наблюдался типичный источник жесткого рентгена с энергией ~20–120 кэВ, в южной ленте наблюдаемые хромосферные эффекты пространственно и по времени совпадают с источником  $\gamma$ -излучения (~1 МэВ), вызванного тормозным излучением высокoenергичных электронов. Сделан вывод, что ударная поляризация и глубокое самообращение линии  $\text{H}\alpha$  на небольшом участке хромосферы (<10'') в южной ленте в течение ~6 мин могут быть связаны с высыпанием высокoenергичных электронов в хромосферу. В то же время, воздействие пучка менее энергич-

ных электронов в северной ленте не привело к подобным эффектам. Отклик хромосферы на внедрение высокоэнергичных электронов наблюдался впервые.

Кроме того, тщательное рассмотрение данных RHESSI показало, что отмеченные многими авторами два рентгеновских источника в южной ленте на самом деле представляют собой один рентгеновский источник, разделенный потоком высокоэнергичных электронов. Исчезновение источника  $\gamma$ -излучения совпадает по времени с исчезновением второго рентгеновского источника в южной ленте, так же как и с исчезновением поляризации и самообращения в линии  $\text{H}\alpha$ .

### **Публикация**

Фирстова Н.М. Связь между появлением источников  $\gamma$ -излучения и ударной линейной поляризации линии  $\text{H}\alpha$  во вспышке 23 июля 2002 года // Письма в Астрономический журнал. 2015. Т. 41, № 10. С. 642–650. (English version: Astronomy Letters. 2015. V. 41, № 10. P. 593–600). DOI 10.1134/S1063773715090029.

### **Модельное представление внепятенной солнечной вспышки**

Наиболее разработанной моделью солнечной вспышки в настоящее время является «стандартная» модель CSHKP, объединяющая разные наблюдательные и теоретические схемы. Стандартная модель вспышки предполагает, что изначально над поверхностью Солнца над линией раздела полярности (ЛРП) активной области висит идеальный магнитный жгут («идеальный» протуберанец), опирающийся торцами в фотосферу. Вспышка инициируется эruptionью магнитного жгута в результате возникшей неустойчивости против изгибов силовых линий, что приводит к вытягиванию силовых линий и формированию протяженного токового слоя. В результате пересоединения происходит слияние противоположно направленных магнитных полей с частичным уничтожением друг друга и высвобождением магнитной энергии. Освобожденная энергия может переходить в тепловую энергию или приводить к ускорению частиц, стекающих в хромосферу вдоль силовых линий магнитного поля. Здесь они отдают свою энергию, тормозятся и нагревают хромосферную плазму, что приводит к образованию вспышечных лент в линии  $\text{H}\alpha$ , возникновению источников жесткого рентгеновского излучения, генерации радиоизлучения разных типов. Эта модель неплохо описывает завершающую фазу солнечной вспышки — фазу расходящихся вспышечных лент. Однако применимость этой модели к начальной и, может быть, импульсной фазе вспышки нельзя считать обоснованной. В реальной ситуации на Солнце над ЛРП вместо идеального магнитного жгута обычно присутствуют магнитные структуры типа солнечных волокон (протуберанцев). В отличие от «идеального» жгута волокно связывается с фотосферой не только торцами, но и многочисленными нитями (barbs, threads), которые укореняются в самых разных местах хромосферы, но большей частью вдоль ЛРП. Поэтому была предложена следующая эмпирическая модель возникновения вспышки.

Перед вспышкой волокно, связанное с фотосферой многочисленными нитями, в результате сдвиговых течений в фотосфере, сближения силовых линий поля и возникшей неустойчивости отрывается и начинает подниматься. Это приводит к магнитному пересоединению нитей и образованию вспышечного каспа (рис. 14). Магнитное пересоединение вызывает нагрев волокна и образование силовых линий магнитного поля. После начала магнитного пересоединения над линией инверсии в канале волокна образуются винтовые силовые линии, которые начинают подниматься вверх. Далее процесс идет в соответствии со стандартной моделью.

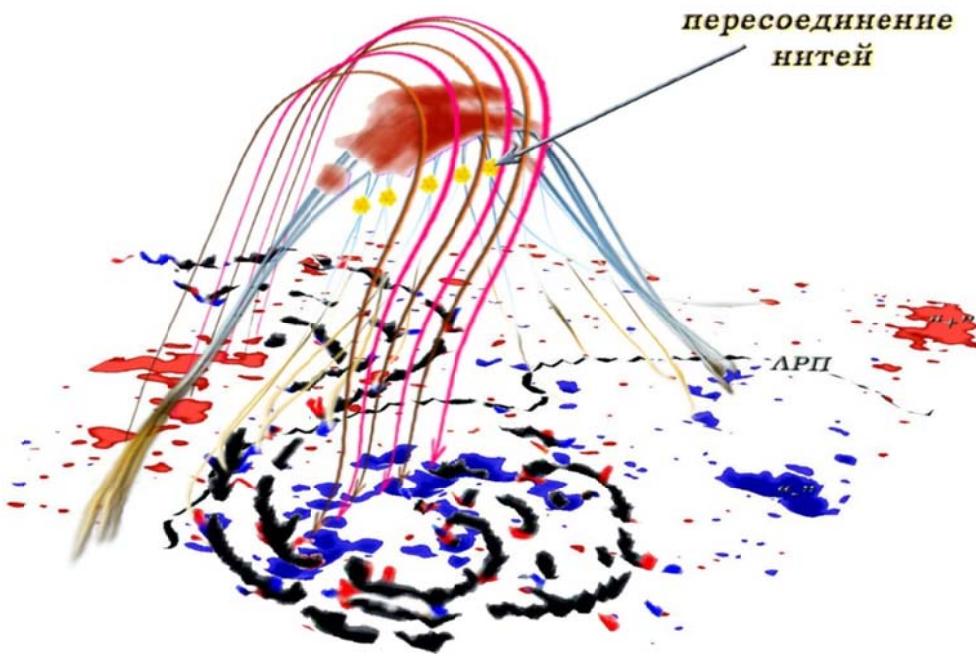


Рис. 14. Магнитное пересоединение нитей волокна перед импульсной фазой внепятенной вспышки

Представленная эмпирическая модель позволила объяснить основные этапы развития внепятенной вспышки, наблюдавшейся в БАО 16 марта 1981 г. и яркий вспышечный «стример», распространявшийся над линией раздела полярности со скоростью порядка 400 км/с, появление которого в рамках стандартной модели объяснить невозможно.

### Публикация

Боровик А.В., Мячин Д.Ю., Уралов А.М. Модельное представление внепятенной солнечной вспышки // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. «Науки о Земле». 2015. Т. 14. С. 15–22.

### Построение световых кривых солнечных вспышек в линии $\text{H}\alpha$

Чтобы иметь представление об особенностях развития вспышечных процессов и сопоставить их развитие во времени с ходом других явлений и событий на Солнце, обычно используют метод построения световых кривых. Световые кривые дают возможность получить ряд важных параметров, характеризующих синфазность, сопряженность вспышечных очагов, режим и продолжительность выделения энергии, что позволяет сделать определенные заключения о физической природе вспышки и источнике энерговыделения.

Типичная деталь всех световых кривых — кратковременные всплески интенсивности продолжительностью от нескольких секунд до десятков секунд. Часть из них имеет солнечное происхождение, другая часть связана с ошибками измерений, качеством наблюдательного материала, другими причинами. Ошибки, вносимые оптической системой телескопа и ПЗС-матрицей, в принципе поддаются учету. Однако на световую кривую могут влиять способ измерения яркости, размер окна измерений, точность его «привязки» к изображению, выбор участка невозмущенной хромосферы (реперной области), яркость которого подвержена квазипериодическим колебаниям акустической, гравитационной и МГД-природы, и др.

Проведенное на примере компактной внепятенной вспышки 5 июля 2001 г. исследование показало, что при построении световых кривых солнечных вспышек исключительно важное значение имеет выбор реперных участков невозмущенной хромосферы. Они не должны коррелировать со вспышечной областью и иметь минимальные флуктуации ярко-

сти. Из 25 реперных областей, выбранных на диске Солнца 5 июля 2001 г., только 8 % могли быть использованы для построения световой кривой внепятенной вспышки.

Установлено, что световые кривые, построенные по изменению средней яркости, не отражают реальный процесс развития солнечных вспышек. Для вспышек и вспышечных узлов с малыми угловыми размерами световая кривая строится с большими ошибками и существенно зависит от размера окна измерений.

Наиболее достоверную картину дают световые кривые, построенные по максимальной яркости вспышки, нормированной к максимальной или средней яркости невозмущенной хромосферы (рис. 15).

Разработанный авторами способ построения световых кривых может быть применен для солнечных вспышек всех баллов.

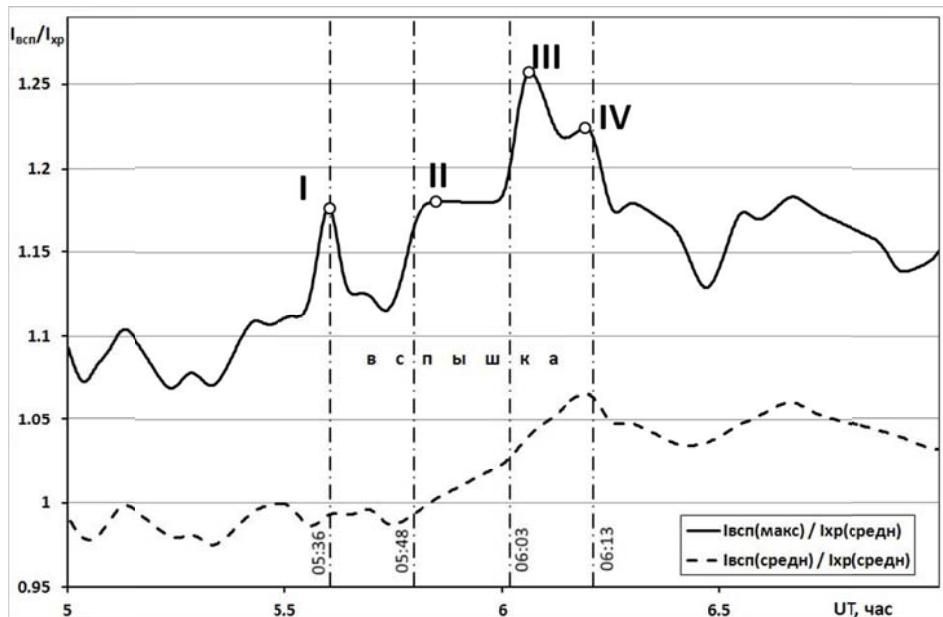


Рис. 15. Световые кривые внепятенной вспышки 5 июля 2001 г., полученные: по средней и по максимальной яркости вспышки. Нормировка проведена на среднюю яркость реперной области

### Публикация

Коняев П.А., Боровик А.В., Жданов А.А. Анализ структуры и развития внепятенных вспышек по цифровым изображениям Солнца // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 9(320). С. 844–849.

### Связь изменения магнитного поля активной области с последующим КВМ

По данным векторных измерений фотосферного магнитного поля инструментом SDO/HMI исследованы изменения поля в активной области, сопровождающие возникновение коронального выброса массы (КВМ) от 07.06.2011, связанного с эрупцией волокна и со вспышкой. Анализировались вариации модуля магнитной индукции  $B$ , радиальной компоненты поля  $B_r$ , а также угла  $\alpha$  между силовыми линиями поля и радиальным направлением из центра Солнца. Впервые вариации поля анализировались в нескольких участках активной области, в которых наблюдалось резкое изменение характера поведения модуля магнитной индукции до и после начала близких по времени вспышки и основного ускорения эруптивного волокна. Для сравнения динамика характеристик магнитного поля изучалась в двух участках, где магнитная индукция практически не менялась со временем. Все рассмотренные участки располагались вблизи ног эруптивного волокна, в области канала волокна и в центре вспышки. Установлено, что событию предшествует всплытие нового магнитного потока (НМП) в нескольких местах. В одном участке вблизи северо-

восточного конца эруптивного волокна НМП представлял собой маленькое пятно — пору, полярность и амплитуда поля в которой благоприятствовали магнитному пересоединению с окружающим полем. Мы предполагаем, что именно пересоединение в этом месте привело к эruptionи волокна. Впервые исследованы вариации углов  $\alpha$  до и после начала события в различных участках активной области, в которой произошло рассматриваемое событие. Обнаружено, что угол  $\alpha$  уменьшается с разной быстротой за несколько часов до начала события в нескольких рассмотренных участках. Возможно, что это связано с медленным подъемом волокна до начала его быстрого ускорения. В области вспышки в окрестности нейтральной линии магнитного поля наблюдаются резкое возрастание поперечной компоненты поля и увеличение примерно на 25–30 % угла наклона силовых линий поля к радиальному направлению после начала события. Этот эффект, предсказанный рядом исследователей, был обнаружен впервые.

### **Публикация**

Файнштейн В.Г., Егоров Я.И., Руденко Г.В., Анфиногентов С.А. Вариации магнитного поля, сопровождающие возникновение КВМ, связанного с эruptionью волокна // Труды XIX Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015» (5–9 октября 2015 г., ГАО РАН, СПб.), С. 359–362.

### **Кинематические характеристики КВМ и связанных с ними ударных волн**

В быстрых корональных выбросах массы КВМ можно выделить тело КВМ и связанную с ним ударную волну (УВ). Были сопоставлены кинематические характеристики (положение и скорость) тел быстрых КВМ и связанных с ними УВ в поле зрения коронографов SOHO/LASCO C2, C3 для двух типов выбросов массы: лимбовых КВМ и КВМ типа гало. В первом случае кинематика КВМ отражает как поступательное движение выброса массы, так и его расширение. Во втором случае кинематические характеристики КВМ определяются преимущественно его расширением. С использованием Ice cream cone model КВМ, сравнивались кинематические характеристики тела КВМ типа гало и связанной с ним ударной волны в 3-мерном пространстве. Для всех групп КВМ показано, что в среднем в рассмотренных событиях расстояние между телом КВМ и УВ возрастает, а разность их скоростей уменьшается по мере удаления КВМ от Солнца. Последнее означает, что скорость УВ уменьшается с расстоянием (со временем) быстрее, чем скорость тела КВМ. Установлено, что в поле зрения LASCO C2, C3 быстрее изменяется со временем (расстоянием) скорость УВ и тела КВМ типа гало по сравнению с лимбовым КВМ.

### **Публикация**

Fainshtein V.G., Egorov Y.I. Characteristics of the motion of coronal mass ejections and related shocks depending on the heliocentric distance // Geomagnetism and Aeronomy. 2015. V. 55, № 8. P. 1165–1170.

### **Исследование роли всплывающих из-под фотосферы магнитных трубок (магнитных потоков) в формировании КВМ**

В событиях 19 июля 2012 г. и 11 февраля 2011 г. анализировалась начальная фаза формирования корональных выбросов массы (КВМ по данным инструмента AIA/SDO). Главные особенности и, соответственно, отличия в формировании «постепенных» и «импульсных» КВМ на высотах  $h_0 < 0.2R_0$  ( $R_0$  — радиус Солнца) непосредственно перед и в течение развития начальной фазы их движения заключаются в следующем.

«Постепенный» КВМ.

1. Основой «постепенного» КВМ является квазистационарный магнитный жгут, расположенный в короне.

2. Более часа перед начальной фазой в магнитном жгуте происходят процессы, в результате которых усиливается яркость и увеличивается толщина сначала низко лежащих внутренних структур жгута, а затем структур его внешней оболочки. При этом жгут в целом остается неподвижным.

3 Начальная фаза начинается с движения внешней оболочки магнитного жгута, которая становится затем основой фронтальной структуры КВМ.

#### «Импульсный» КВМ.

1. Начальная фаза «импульсного» КВМ начинается с появления вблизи фотосферы движущейся от Солнца полости, динамика которой, предположительно, отражает всплытие из-под фотосферы магнитной трубки с холодной плазмой (рис. 16).

2. Встречая на своем пути арочные структуры, магнитная трубка увлекает их за собой. Эти структуры участвуют в формировании КВМ, основу которого составляет сама магнитная трубка.

3. Сравнение результатов расчета всплытия из конвективной зоны магнитной трубы вследствие развития неустойчивости Паркера с экспериментом подтверждает вывод о том, что наблюдаемая динамика полости отражает движение магнитной трубы с холодной плазмой.

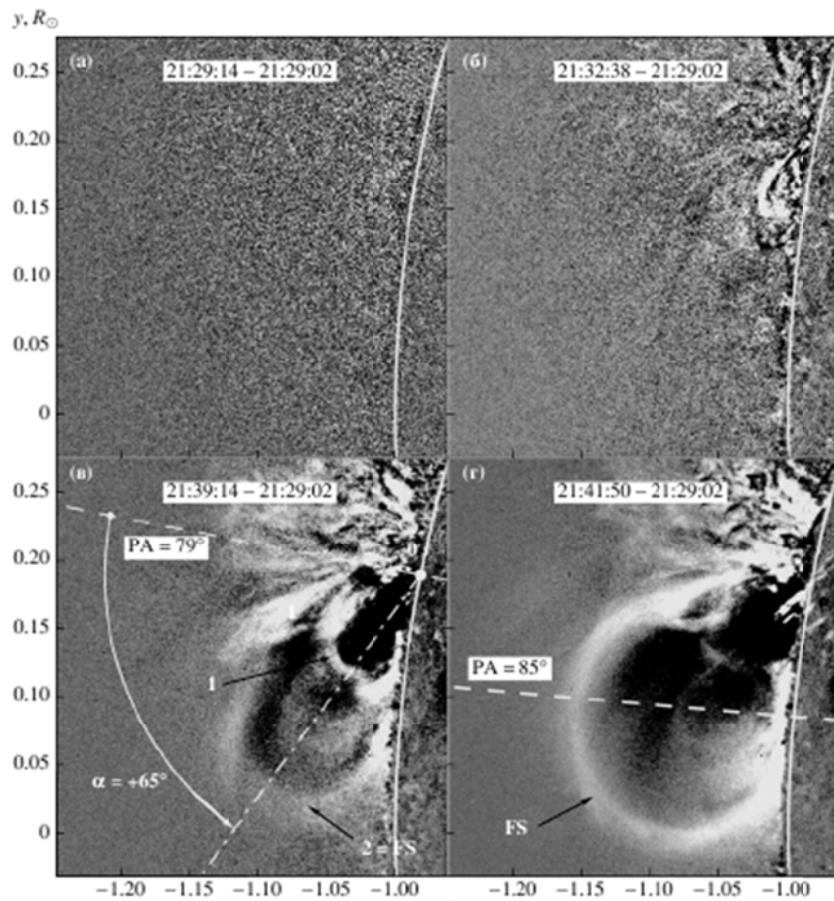


Рис. 16. Разностные EUV-изображения в последовательные моменты времени для «импульсного» КВМ 11 февраля 2011 г. данные AIA/SDO, 131 Å

#### Публикации

1. Еселеевич В.Г., Еселеевич М.В. Отличия в развитии начальной фазы формирования двух типов корональных выбросов массы // Космические исследования. 2015. Т. 53, № 1. С. 24–34.

2. Romanov D.V., Romanov K.V., Romanov V.A., Kucherov N. V., Eselevich V.G., Eselevich M.V. On the possible reason for the formation of impulsive coronal mass ejections // Advance Space Research. 2015. V. 55, iss. 3. P. 949–957.

## Ключевая роль солнечного волокна в создании вспышки, КВМ и ударной волны

Две эruptionии волокон 24 февраля и 11 мая 2011 г., наблюдавшиеся многими инструментами, предполагают следующий обновленный сценарий эруптивной вспышки, коронального выброса массы (КВМ) и эволюции ударной волны. Начальная дестабилизация волокна приводит к вытяжению магнитных нитей, принадлежащих его телу и укорененных в фотосфере вдоль линии инверсии. Их пересоединение приводит:

1. к нагреву частей волокна или его окружения;
2. к начальному возникновению вспышечных каспа, аркады и лент;
3. к нарастающему сходству волокна с окружным магнитным жгутом;
4. к его ускорению (рис. 17).

Затем предэруптивная аркада, охватывавшая волокно, вовлекается в пересоединение согласно стандартной модели, продолжая формирование вспышечных аркады и лент. Полоидальное магнитное поле в искривленном жгуте, формирующемся из волокна, неуклонно нарастает, форссируя его тороидальное расширение. Магнитный жгут импульсно расширяется, возбуждая магнитогидродинамическое возмущение, которое быстро укручивается в ударную волну (рис. 18). Волна проходит сквозь аркаду, расширяющуюся над волокном, и затем в течение некоторого времени распространяется перед КВМ подобно замедляющейся взрывной волне (рис. 19). Если КВМ медленный, то ударная волна со временем затухает. В противном случае передняя часть ударного фронта переходит в поршневой режим. Это впервые наблюдалось в событии 24 февраля 2011 г. Когда пересоединение прекращается, магнитный жгут релаксирует и образует систему ядро–полость КВМ, а расширяющаяся аркада становится его фронтальной структурой (рис. 20). Установлено, что пересоединение в токовом слое удаленного стримера, вызванное прохождением ударного фронта, возбуждает в стримере бегущий процесс, подобный вспышке, ответственный за радиоизлучение II типа. Обсуждается развитие димминга и других процессов.

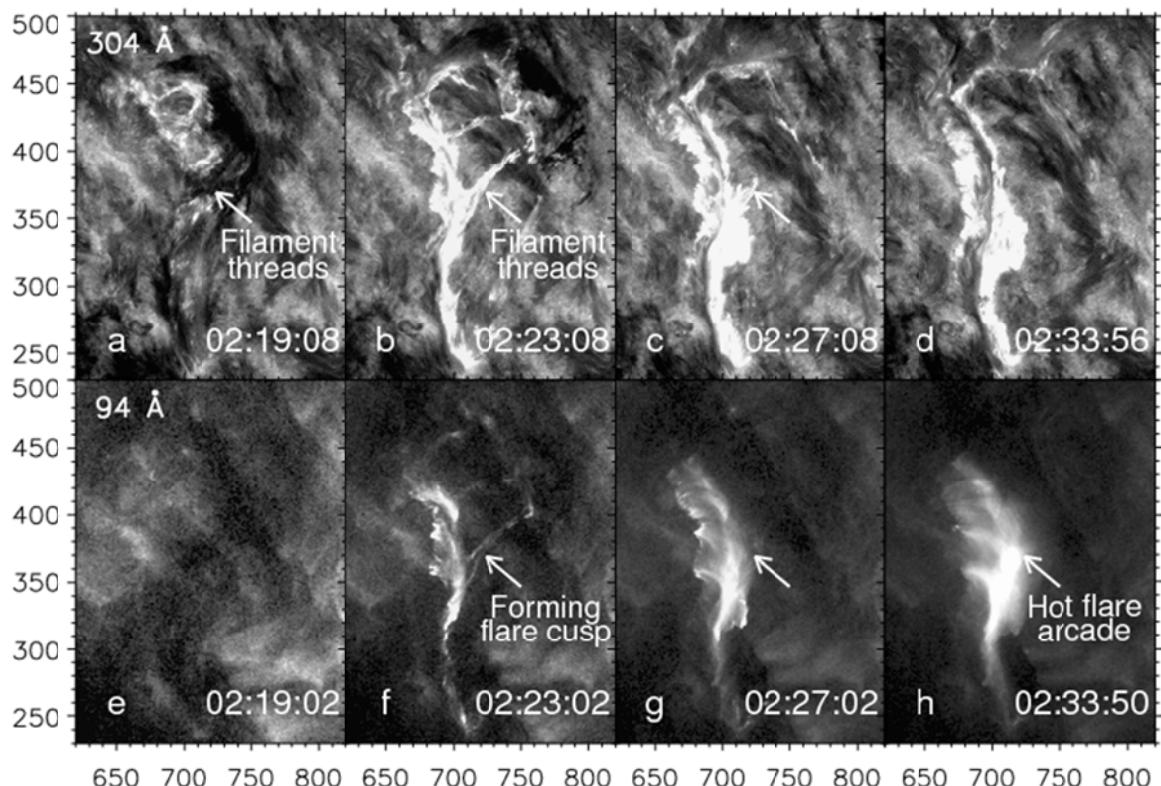


Рис. 17. Эruptionия волокна и начало вспышечного процесса в событии 11 мая 2011 г.

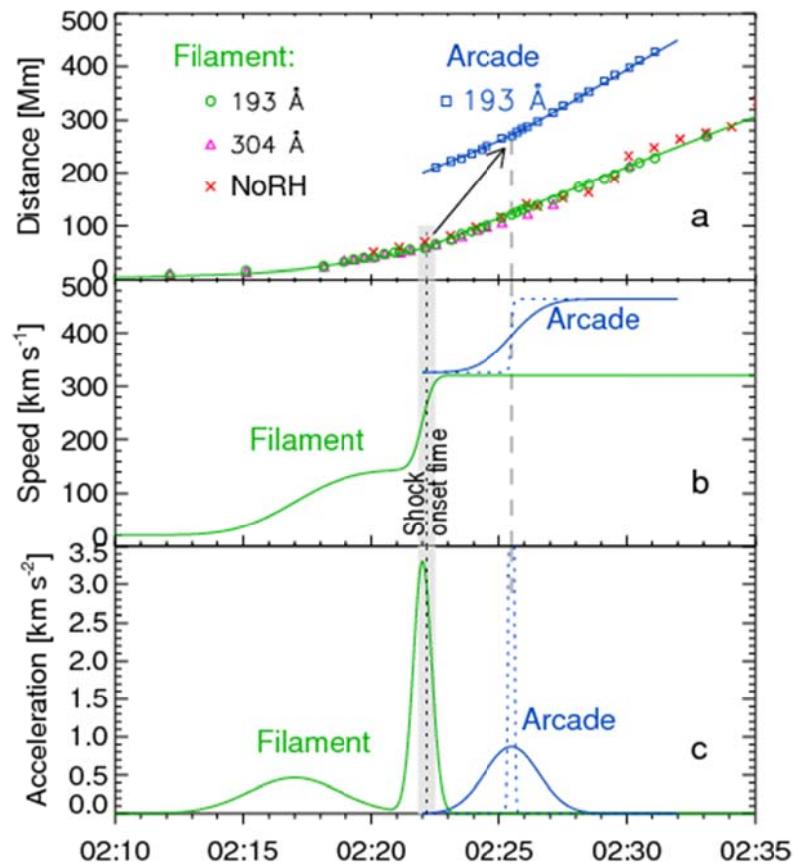


Рис. 18. Эruptивное событие 11 мая 2011 г. Кинематика эruptивного волокна и аркады над ним и возникновение волны

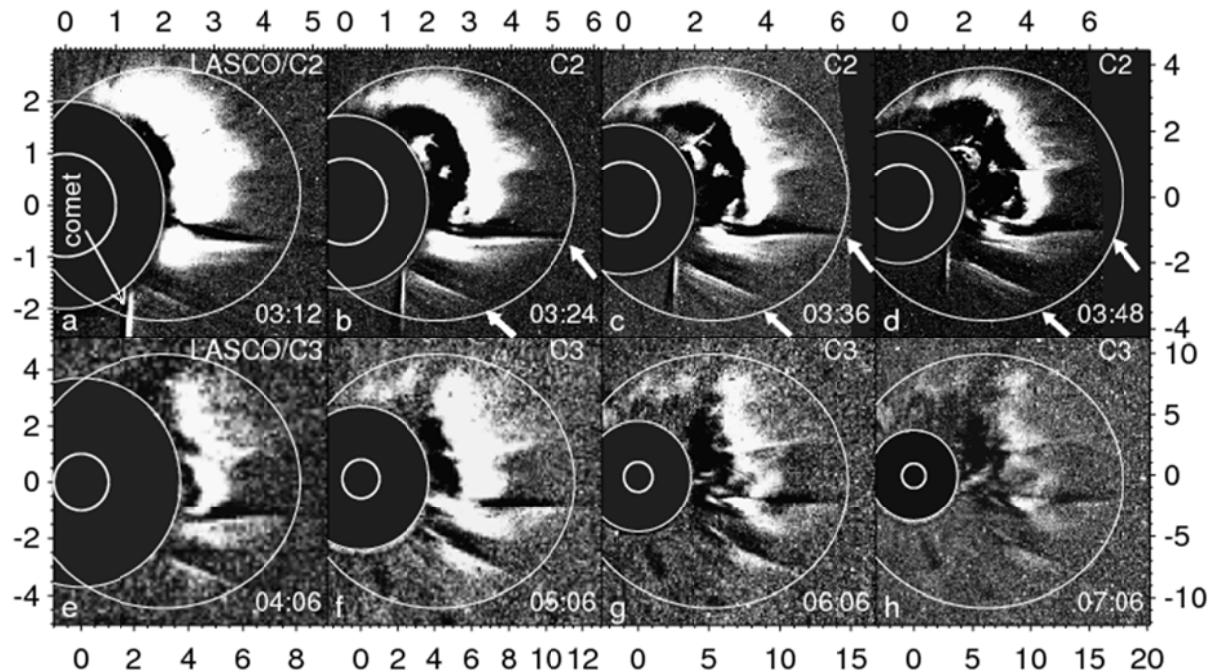


Рис. 19. След волны перед КВМ в событии 11 мая 2011 г. Скорость эллиптической огибающей волнового следа монотонно снижается согласно кинематике ударной волны

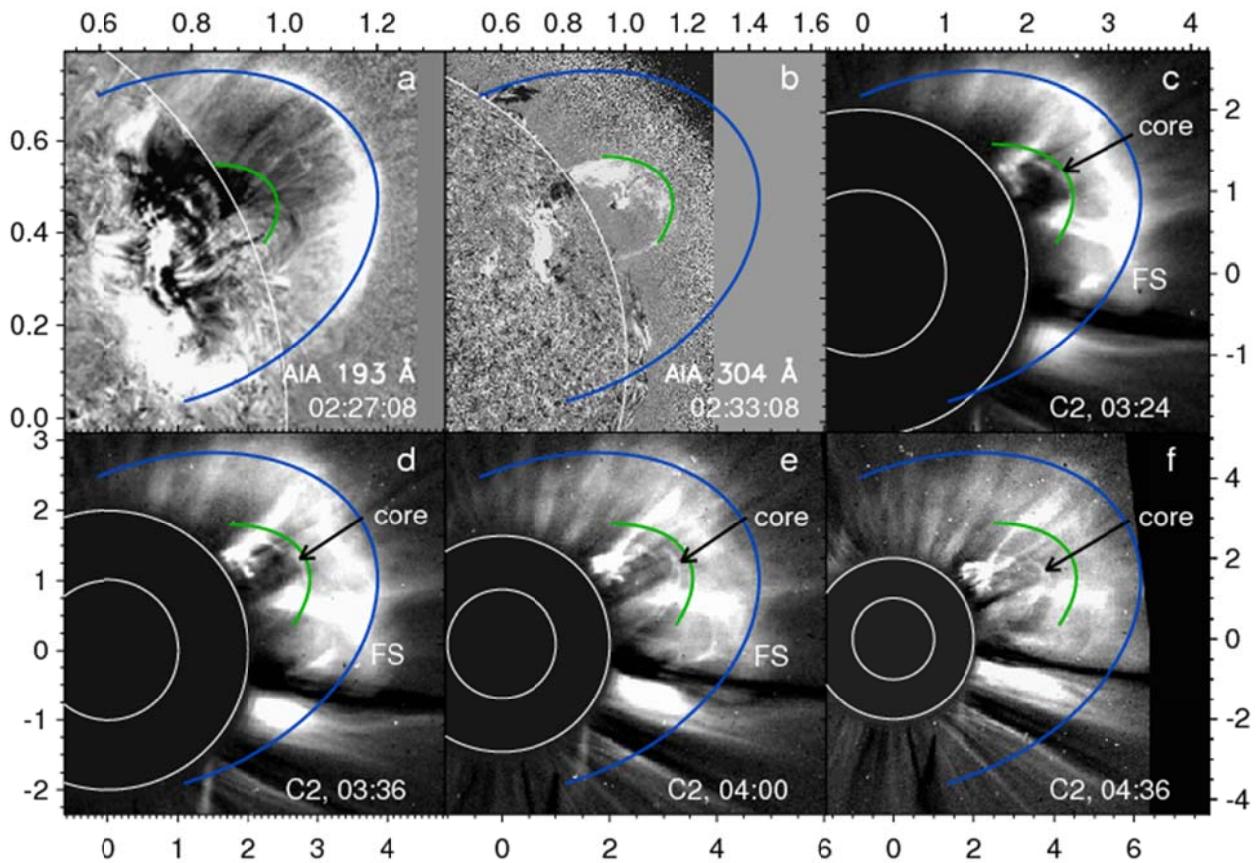


Рис. 20. Формирование структурных составляющих КВМ в событии 11 мая 2011 г. Скорости эллиптических дуг неизменны

### Публикация

Grechnev V.V., Uralov A.M., Kuzmenko I.V., Kochanov A.A., Chertok I.M., Kalashnikov S.S. Responsibility of a filament eruption for the initiation of a flare, CME, and blast wave, and its possible transformation into a bow shock // Solar Physics. 2015. V. 290. P. 129–158.

### Простой способ оценки рентгеновского балла солнечных заливовых вспышек, наблюдавшихся STEREO/EUVI

Около максимума значительных вспышек на изображениях STEREO/EUVI 195 Å возникают эффекты перегрузки (блуминг), проявляющиеся как почти горизонтальные полосы по бокам от наиболее ярких вспышечных источников (рис. 21). Показано, что длину этих перегрузочных полос можно использовать для решения проблемы оценки мягкого рентгеновского потока и балла вспышек за лимбом, зарегистрированных на одном из двух космических аппаратов STEREO, но невидимых с Земли. С этой целью по данным о примерно 350 вспышках, наблюдавшихся с января 2007 по июль 2014 г. (в основном превышавших уровень M1.0), установлено эмпирическое соотношение  $F_G = 392 \cdot (L/R_S)^{1.42}$ , связывающее пиковый поток GOES в диапазоне 1–8 Å  $F_G$  с относительной длиной перегрузочной полосы  $L/R_S$  (рис. 22).

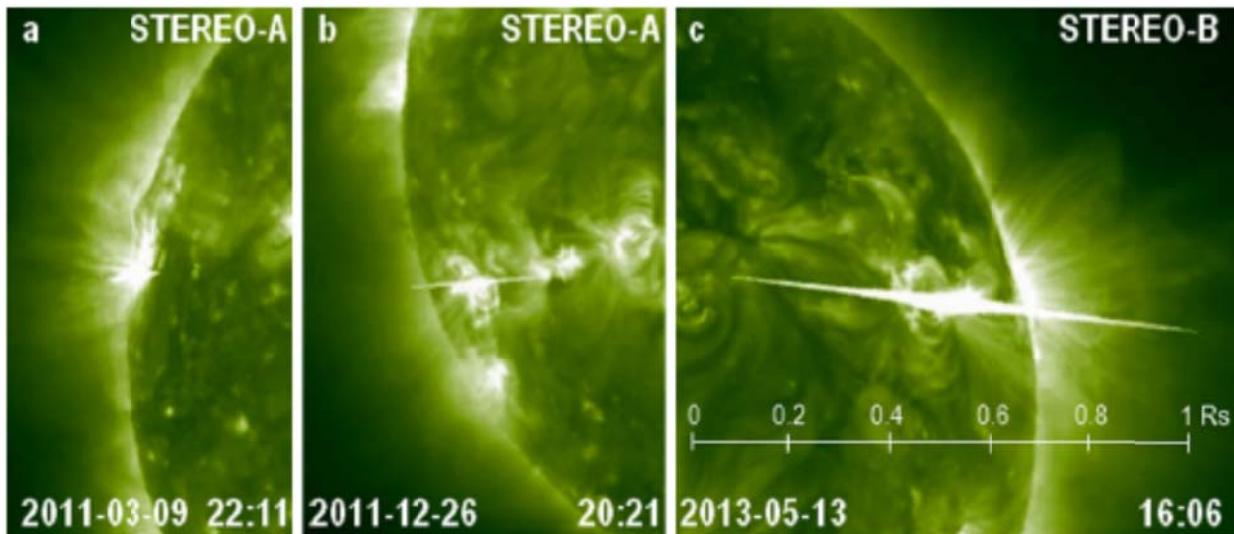


Рис. 21. Изображения STEREO/EUVI в канале 195 Å с полосой блуминга, типичной для вспышек баллов C (а), M (б) и X (с). Масштаб, показанный на панели (с), одинаков для всех трех кадров

Это позволило оценить рентгеновские баллы примерно 65 мощных вспышек за лимбом, наблюдавшихся на STEREO в эти же годы. Результаты этого простого и оперативного метода согласуются с оценками статьи Nitta et al. [Solar Phys. 2013, 288, 241], основанными на вычислении отклика телескопов EUVI от всего солнечного диска. Кроме того, исследованы некоторые особенности перегрузочных полос в импульсных и продолжительных вспышках. Показано, что эти полосы, присутствующие в последовательных изображениях EUVI, могут быть использованы для реконструкции вероятной истории мощных вспышек за лимбом.

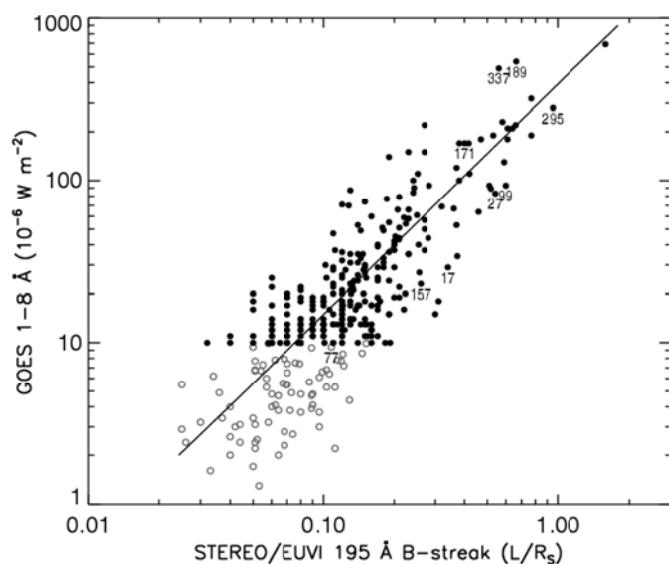


Рис. 22. Соотношение между максимальной относительной длиной полосы блуминга  $L/R_s$  по наблюдениям на телескопах STEREO/EUVI в канале 195 Å и пиковым потоком мягкого рентгеновского излучения GOES в диапазоне 1–8 Å. Светлыми кружками обозначены вспышки балла C, темными – вспышки баллов  $\geq M1$

### Публикация

Chertok I.M., Belov A.V., Grechnev V.V. A Simple Way to Estimate the Soft X-ray Class of Far-Side Solar Flares Observed with STEREO/EUVI // Solar Physics. V. 290. P. 947–1961

## **Ключевая роль солнечного волокна в создании вспышки, коронального выброса и ударной волны**

Традиционные воззрения на возникновение солнечной вспышки, коронального выброса массы (КВМ) и ударной волны основаны на представлении о магнитном жгуте. Его внешний край отождествляется с границей корональной полости расширяющегося КВМ и считается источником корональной волны. Магнитное пересоединение под взлетающим жгутом запускает солнечную вспышку стандартной схеме. Эруптивные солнечные волокна, сопровождающие эти явления, дполагаются пассивными маркерами происходящих процессов.

Такая схема удобна для описания завершающей стадии реального эруптивного процесса, произошедшего в магнитосфере солнечной активной области. Однако сформировавшегося магнитного жгута не существует до начала эruptionи. Его наблюдаемым предшественником является активное волокно. Начальный этап эruptionи волокон исследовался нами на протяжении ряда лет. На основании этих исследований были сделаны следующие выводы.

Превращение солнечного волокна в инициатора солнечной вспышки и магнитный движитель КВМ сопровождается двумя принципиально новыми моментами:

А) формирование первичных вспышечных лент и каспа, сопровождающих разогрев волокна и не предсказываемых стандартной моделью;

Б) возникновение не снаружи будущего КВМ, а внутри него волны, последовательно передающей движение от эруптивного волокна к расположенным выше него магнитным структурам.

Дестабилизация волокна сопровождается вытяжением магнитных линий, образующих тело волокна и спускающихся в фотосферу по обе стороны от линии инверсии. Их последующее пересоединение приводит: 1) к разогреву волокна, 2) к появлению каспа над первичной вспышечной аркадой, 3) к нарастающему искривлению и ускорению формирующегося магнитного жгута, стремительно теряющего боковые связи с фотосферой. Этими процессами характеризуется стадия внутреннего магнитного пересоединения, когда происходит топологическая перестройка магнитных потоков, составляющих внутреннюю структуру волокна до его эruptionи. Завершением этой стадии является плавный переход в стадию, соответствующую стандартной модели вспышки, когда внешние корональные петли вступают в магнитное пересоединение под сформировавшимся магнитным жгутом. Эту вторую стадию можно назвать стадией внешнего магнитного пересоединения. Такое разделение вспышечного процесса, так же как и эруптивного, на внутреннюю и внешнюю стадии предложено нами впервые и нуждается в поиске экспериментальных способов различения этих стадий.

Разделение солнечной вспышки на две стадии обнаруживает себя и при анализе процесса формирования КВМ и проявляется в том, что первоисточником всех движений внутри формирующегося КВМ является солнечное волокно. Передача движений носит характер волны.

### **Публикация**

Grechnev V.V., Uralov A.M., Kuzmenko I.V., Kochanov A.A., Chertok I.M., Kalashnikov S.S. Responsibility of a Filament Eruption for the Initiation of a Flare, CME, and Blast Wave, and its Possible Transformation into a Bow Shock // Solar Physics. 2015. V. 290, iss. 1, P. 129–158 (<http://arxiv.org/abs/1410.8696>, 35 p.).

## Соотношение между магнитным потоком, вовлеченным в солнечные эruptionи, и $A_p$ -индексом геомагнитных бурь

Солнечные корональные выбросы (КВМ) — главные источники наиболее мощных нерекуррентных геомагнитных бурь. В крайнем ультрафиолетовом излучении КВМ сопровождаются яркими постэруптивными аркадами и темными диммингами. Анализ событий 23-го солнечного цикла [Chertok et al., in Solar Phys., 2013. 282, 175] показал, что суммарный беззнаковый магнитный поток  $\Phi$  в областях аркад и диммингов на уровне фотосферы значимо связан с интенсивностью геомагнитных бурь, описываемой индексом  $D_{st}$ . Этот факт дает основу для наиболее ранней диагностики геоэффективности солнечных эruptionий. На том же наборе данных показано наличие значимой корреляции также между эруптивным магнитным потоком  $\Phi$  и геомагнитным индексом  $A_p$  (рис. 23).

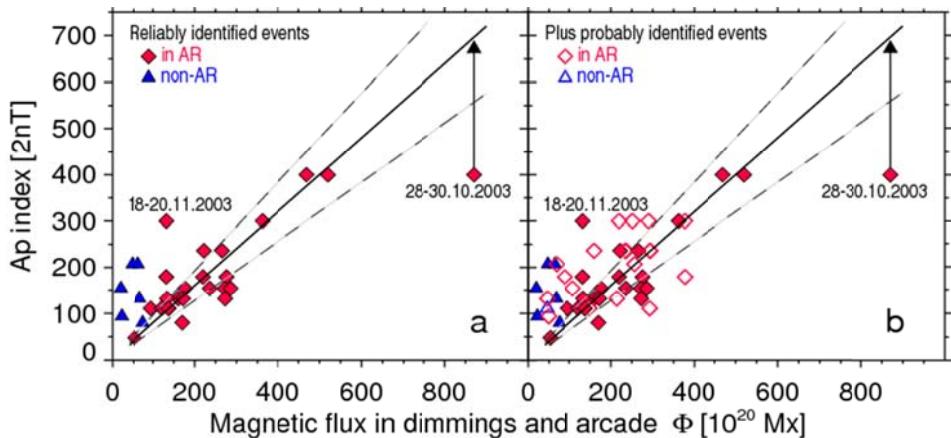


Рис. 23. Соотношение между эруптивным магнитным потоком  $\Phi$  и  $A_p$ -индексом: слева — магнитные бури, солнечные источники которых надежно отождествлены, справа — добавлены события с вероятным отождествлением

При нарастании магнитного потока от нескольких десятков до  $\approx 500$  (в единицах  $10^{20}$  Мкс) интенсивность геомагнитной бури, измеряемая трехчасовым  $A_p$ -индексом, увеличивается в среднем от  $A_p \approx 50$  до формального верхнего предела 400 (в единицах 2 нТл). Установленное соотношение  $A_p = 0.8 \Phi$  показывает, что реальное значение  $A_p$ -индекса не ограничено и во время наиболее сильных магнитных бурь может значительно превосходить 400.

### Публикация

Chertok I.M., Abunina M.A., Abunin A.A., Belov A.V., Grechnev V.V. Relationship between the magnetic flux of solar eruptions and the  $A_p$  index of geomagnetic storms // Solar Physics. 2015. V. 290. P. 627–633.

## Соотношения между микроволновыми всплесками и околоземными протонными возрастаниями высоких энергий и их происхождение

Продолжено исследование соотношений между параметрами всплесков на частоте 35 ГГц, зарегистрированных радиополяриметрами Нобеяма в течение 25 лет, и солнечными протонными событиями [Grechnev et al., Publ. Astron. Soc. Japan. 2013, 65, S4]. Изучены соотношения между микроволновыми флюенсами на 35 ГГц и флюенсами околоземных протонных возрастаний с энергиями выше 100 МэВ для выявления информации об их источниках и оценки диагностического потенциала радиовсплесков. Корреляция между микроволновыми и протонными флюенсами значительно выше, чем между пиковыми значениями (рис. 24). Вероятно, это отражает зависимость полного числа протонов от длительности процесса их ускорения.

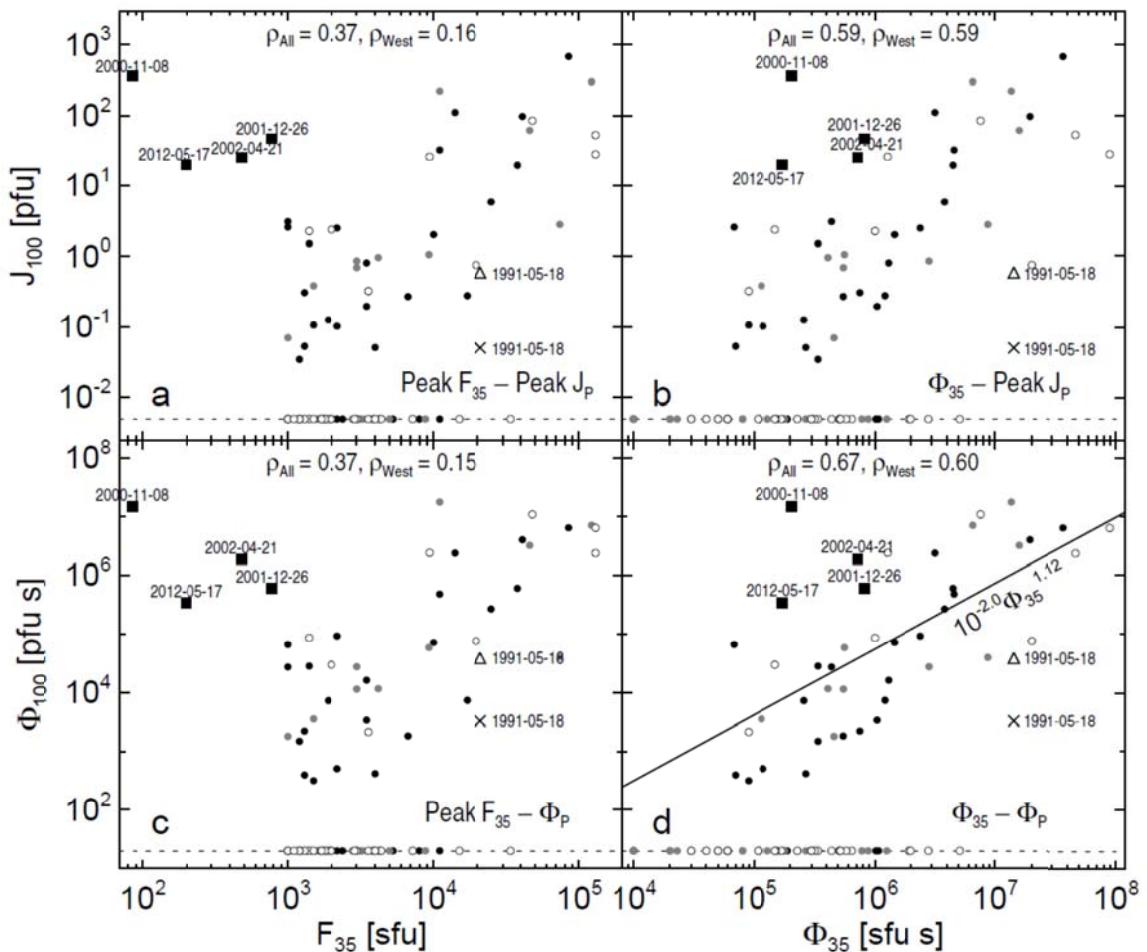


Рис. 24. Соотношения между различными комбинациями пиковых потоков и флюенсов микроволновых всплесков на частоте 35 ГГц и околоземных протонных возрастаний выше 100 МэВ. Черными квадратами обозначены мощные протонные события после умеренных микроволновых всплесков. Цвет кружков обозначает долготу  $\lambda$  солнечных источников: белые  $\lambda < E30$ , серые  $E30 \leq \lambda < W20$ , черные  $\lambda \geq W20$ . Коэффициенты корреляции указаны для всего набора событий ( $\rho_{\text{All}}$ ) и отдельно для западных событий ( $\rho_{\text{West}}$ ). Последние ниже, так как все нетипичные события, обозначенные квадратами, — западные

В событиях с мощными вспышками коэффициенты корреляции флюенсов протонов высоких энергий с флюенсами микроволнового и мягкого рентгеновского излучения выше, чем со скоростями КВМ (рис. 25). Эти результаты указывают на статистически больший вклад вспышечных процессов в потоки протонов высоких энергий. Ускорение ударными волнами выглядит менее значимым для высоких энергий в событиях, связанных с мощными вспышками, хотя их вклад вероятен и, возможно, превалирует в более слабых событиях. Установлено, что вероятность обнаружимого протонного возрастания прямо зависит от максимального потока, длительности и флюенса всплеска на частоте 35 ГГц; роль «синдрома большой вспышки» была ранее сильно преувеличена. Предложены эмпирические соотношения для микроволновой диагностики протонных возрастаний.

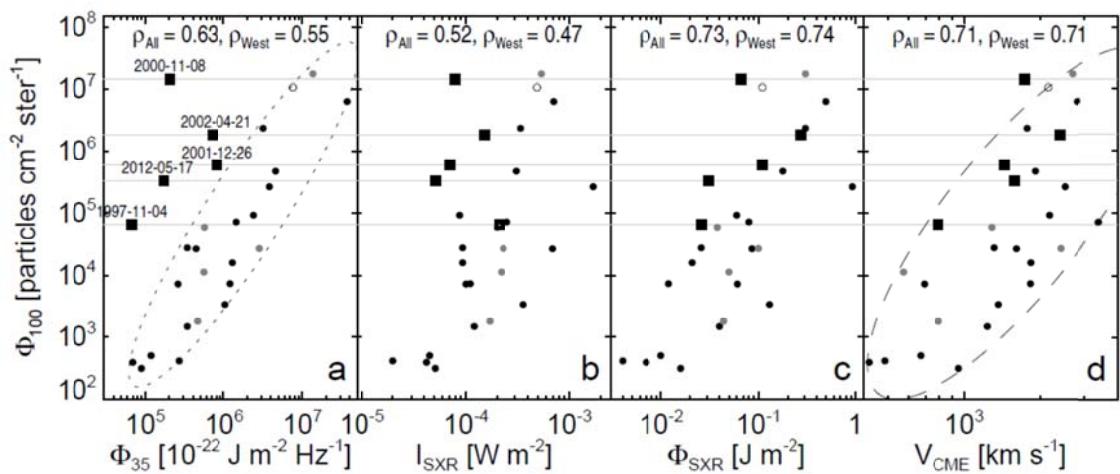


Рис. 25. Сравнение корреляций между протонными и микроволновыми флюенсами (а), пикировыми потоками (б) и флюенсами (с) мягкого рентгеновского излучения, скоростями КВМ (д). Обозначения те же, что и на рис. 24

### Публикация

Grechnev V.V., Kiselev V.I.; Meshalkina N.S., Chertok I.M. Relations between microwave bursts and near-earth high-energy proton enhancements and their origin // Solar Physics. 2015. V. 290. P. 2827–2855.

### Нелинейные эффекты в распространении медленных магнитозвуковых волн в корональных плазменных структурах

Теоретически рассмотрена динамика наблюдаемых продольных волн в корональных перьевых структурах с учетом диссипации, нелинейности, магнитной природы волн и волноводного характера их распространения. Выведено эволюционное уравнение типа Бюргерса, описывающее распространение слабонелинейных медленных магнитозвуковых волн в однородных тонких магнитоплазменных трубках. Получены задержка в образовании ударных фронтов в профиле трубочной волны, а также более интенсивное затухание трубочной волны в сравнении со звуковыми волнами. Оба полученных эффекта существенны для случая  $\beta \sim 1$  и  $\beta > 1$ ; напротив, при  $\beta < 1$  эволюция трубочной волны слабо отличается от эволюции звуковых волн (рис. 26). Поэтому для анализа продольных волн в нижней части корональных перьев и в магнитных веерных структурах с температурой плазмы  $\sim 1$  МК могут использоваться модели, развитые для слабонелинейных звуковых волн. С другой стороны, полученные эффекты важны для анализа эволюции продольных волн в горячих вспышечных петлях, магнитных веерных структурах, заполненных горячей плотной плазмой ( $> 6$  МК), корональных перьях с  $\beta \sim 1$  (выше в короне).

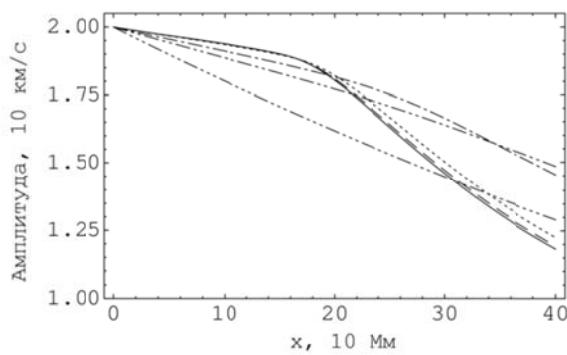


Рис. 26. Изменение амплитуды трубочной волны для различных значений плазменного параметра  $\beta$ . Пунктирная, штриховая, штрихпунктирная, 2-штрихпунктирная и 3-штрихпунктирная линии соответствуют значениям альфвеновской скорости 866, 433, 130, 87 и 43 км/с, скорость звука в короне 175 км/с. Значение кинематической вязкости  $2.4 \times 10^{14}$  см<sup>2</sup>/с. Сплошная линия соответствует случаю бесконечно сильного магнитного поля, т. е. обычным звуковым волнам.

### Публикация

Afanasyev A.N., Nakariakov V.M. Nonlinear slow magnetoacoustic waves in coronal plasma structures // Astronomy & Astrophysics. 2015. V. 573. P. A32.

### Уменьшение периода отсечки медленных магнитозвуковых волн в корональных магнитоплазменных структурах

Показано, что влияние магнитной природы продольных волн в корональных плазменных трубках и волноводный характер их распространения приводят к существенному понижению значений периода отсечки волн в сравнении с моделями звуковых волн и трубоочных волн в приближении постоянной альфеновской скорости в трубке. Уменьшение периода отсечки волн в сильно расходящихся трубках в холодной плазме может ограничивать поток волн с периодами больше периода отсечки, а также быть ответственным за появление в короне колебаний соответствующих периодов при импульсном возбуждении корональной плазмы (рис. 27).

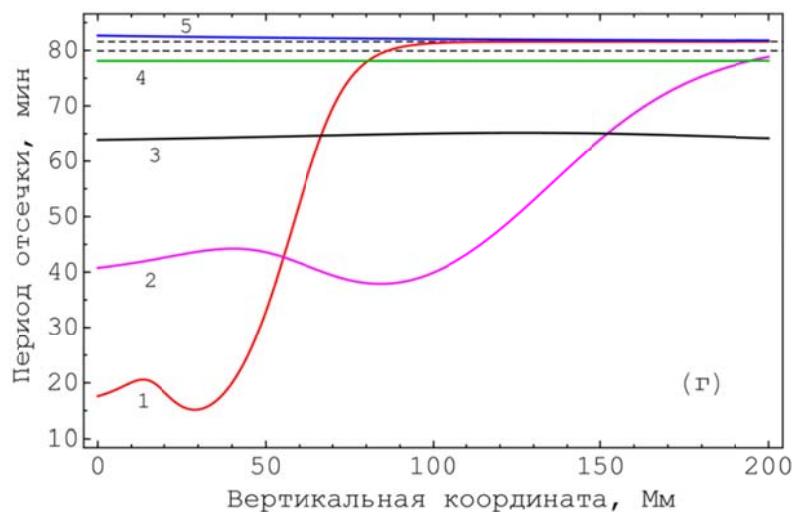


Рис. 27. Высотная зависимость периода отсечки продольных волн в экспоненциально расходящейся магнитной трубке для случая  $\beta \ll 1$ . Различные кривые соответствуют разным значениям характерного масштаба  $L$  изменения магнитного поля с высотой в сравнении с масштабом барометрического изменения плотности  $H$ . Кривая 1 —  $L=0.2H$ ; 2 —  $L=0.5H$ ; 3 —  $L=H$ ; 4 —  $L=2H$ ; 5 —  $L=5H$ . Штриховые линии показывают значения периода акустической отсечки (нижняя) и периода Брента-Вайсяля (верхняя)

### Публикация

Afanasyev A.N., Nakariakov V.M. Cut-off period for slow magnetoacoustic waves in coronal plasma structures // Astronomy & Astrophysics. 2015. V. 582. P. A57.

### Новый метод регистрации солнечных магнитных потоков

Создан метод выявления новых магнитных потоков на Солнце, основанный на процедуре мультифрактального сегментирования карт фотосферного магнитного поля с высоким пространственным разрешением. При выходе нового магнитного потока консолидированные компактные структуры в первую очередь проявляются на картах поперечного магнитного поля и полученных на их основе сегментированных изображениях, что можно интерпретировать как выход горизонтальных магнитных арок. Метод выявления новых магнитных потоков путем мультифрактального сегментирования может использоваться для практической оценки вспышечного потенциала активных областей в реальном времени (рис. 28).

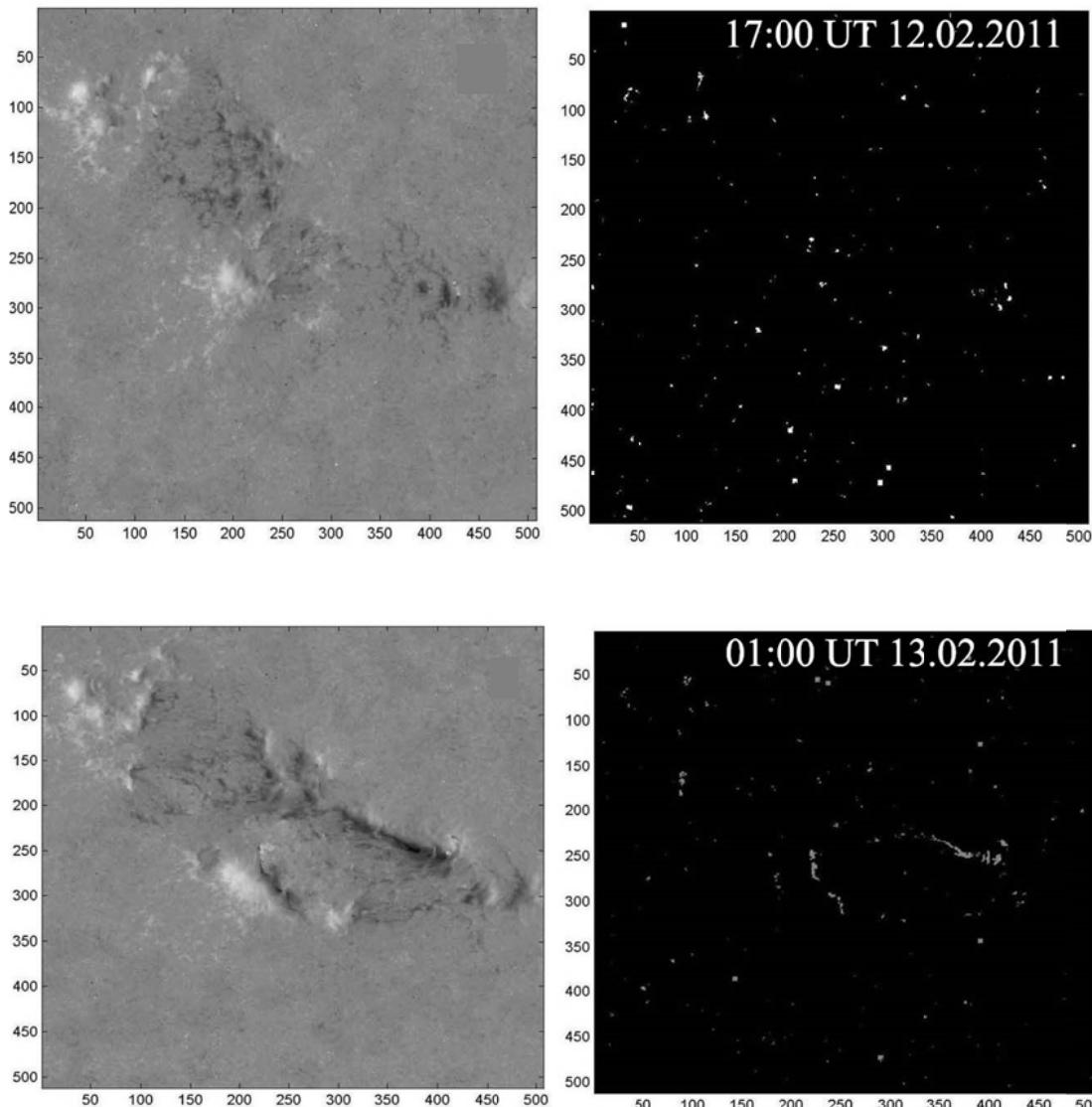


Рис. 28. Карты поперечного магнитного поля SOT Hinode (слева) и мультифрактальные сегментированные изображения (справа), демонстрирующие структуры нового магнитного потока

#### **Публикация**

Головко А.А., Салахутдинова И.И. Эволюция активных областей на Солнце: выявление нового магнитного поля методом мультифрактального сегментирования // Астрономический журнал. 2015. Т. 92, № 8. С. 650–664.

#### **3.4. Развитие оптических и радиофизических методов в области астероидно-кометной опасности, техногенного засорения и экологии космического пространства**

#### **Совершенствование методов получения и анализа траекторных и фотометрических измерений малоразмерных космических аппаратов и космического мусора**

#### **Анализ и систематизация фотометрических характеристик КА и КМ. Создание каталога фотометрических характеристик КА и КМ**

На основе наблюдений, проводимых на телескопе АЗТ-33ИК Саянской солнечной обсерватории, создан каталог фотометрических характеристик космических объектов (КО). Каталог содержит информацию по 170 КО, в том числе 120 активным и выведенным

из эксплуатации космическим аппаратом (КА) на геостационарной, средневысотных и низких орbitах и 50 фрагментам космического мусора (КМ) с блеском до 18 звездной величины.

Основным источником оптической информации о КО являются временные и фазовые зависимости блеска. Кривые блеска активных КА не показывают каких-либо характерных особенностей, присущих данному аппарату. Блеск активных КА монотонно возрастает или убывает со временем в зависимости от условий освещенности. Нарушение работы системы стабилизации при возникновении нештатной ситуации или по истечении времени эксплуатации КА приводит к вращению объекта относительно центра масс. Кривые блеска при этом приобретают периодический характер.

На рис. 29 приведены примеры кривых блеска вращающихся объектов различных классов.

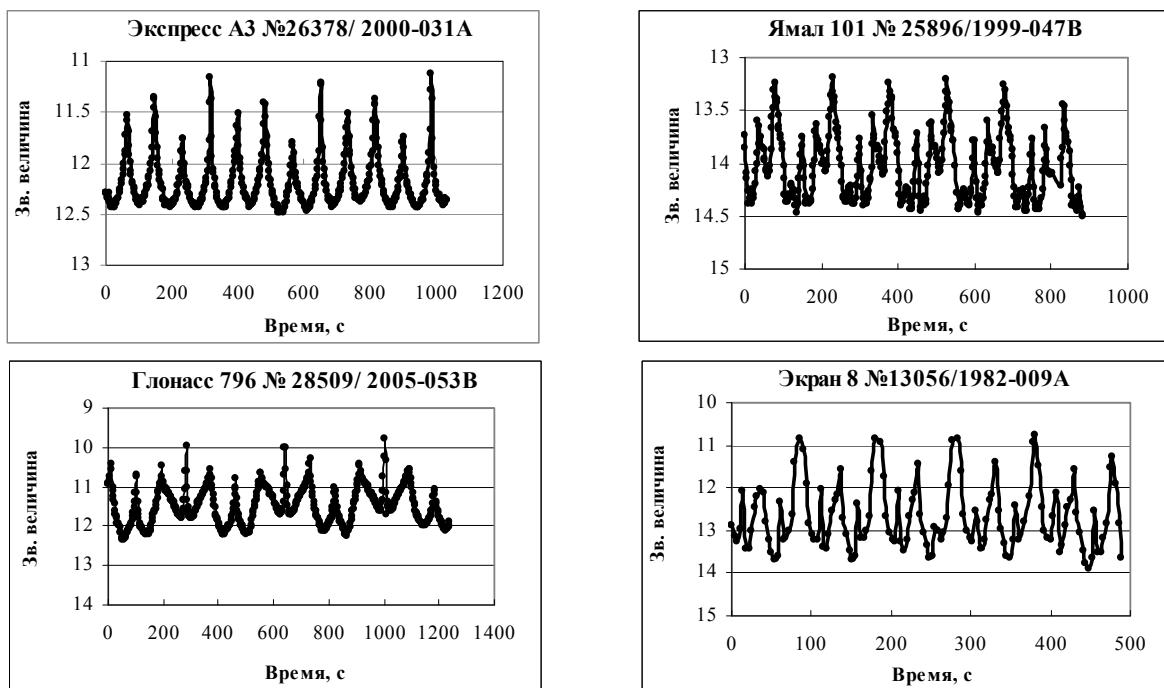


Рис. 29. Кривые блеска КА различных классов

Анализ приведенных кривых блеска показывает, что у всех рассмотренных КА на период вращения приходится четыре пика, при этом каждая кривая имеет характерные признаки, определяемые конструктивными особенностями данного КА. К числу этих признаков можно отнести средний блеск КА, амплитуду пиков, период вращения относительно центра масс.

Малоразмерные фрагменты КМ по виду кривых блеска можно разделить на три типа: объекты с постоянным блеском, объекты с хаотично изменяющимся блеском и объекты с периодически изменяющимся блеском. В последнем случае на период вращения может приходиться от двух до пяти пиков, период вращения может составлять от нескольких секунд до сотен секунд, амплитуда изменения блеска — от 0.2 до 3 звездных величин. Примеры кривых блеска фрагментов КМ с большим отношением площади к массе (ОПМ) приведены на рис. 30.

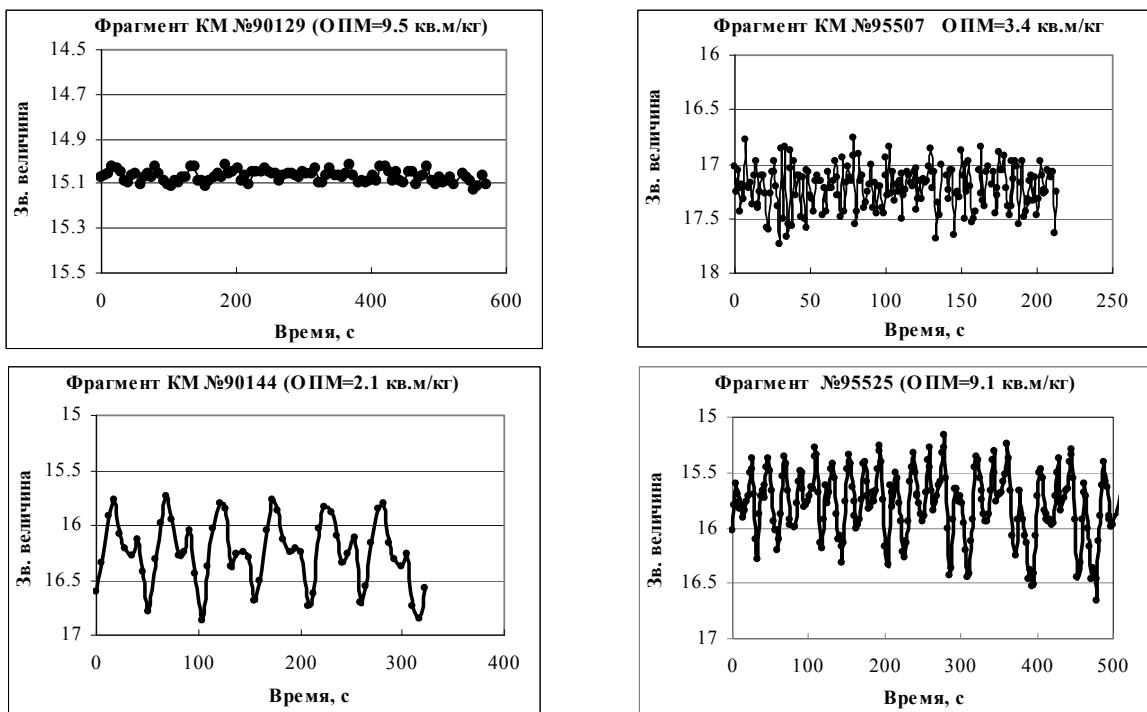


Рис. 30. Кривые блеска фрагментов КМ

Фазовый угол — угол между Солнцем, КА и наблюдателем, поэтому фазовая зависимость отражает изменения блеска, связанные как с изменением направления освещенности, так и с особенностями поверхности КА. Для фазовых зависимостей блеска активных КА характерены монотонный спад блеска в интервале фазовых углов от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , а затем возрастание примерно до  $110^\circ$  и последующее убывание (рис. 31).

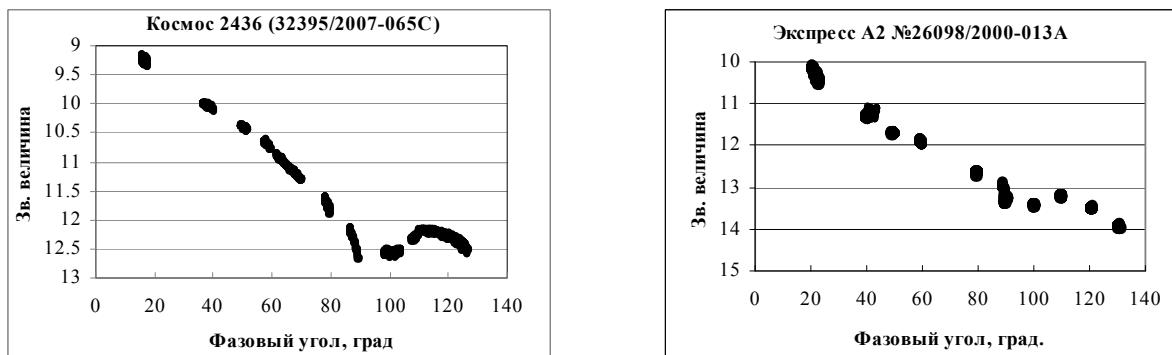


Рис. 31. Фазовые зависимости блеска активных КА

Аналогичный ход фазовой зависимости наблюдаются и для некоторых фрагментов КМ (например, № 90202 на рис. 32). Однако среди них можно также выделить класс объектов с «обратной» фазовой зависимостью (№ 95485) или слабо выраженной зависимостью блеска от фазового угла (№ 90103).

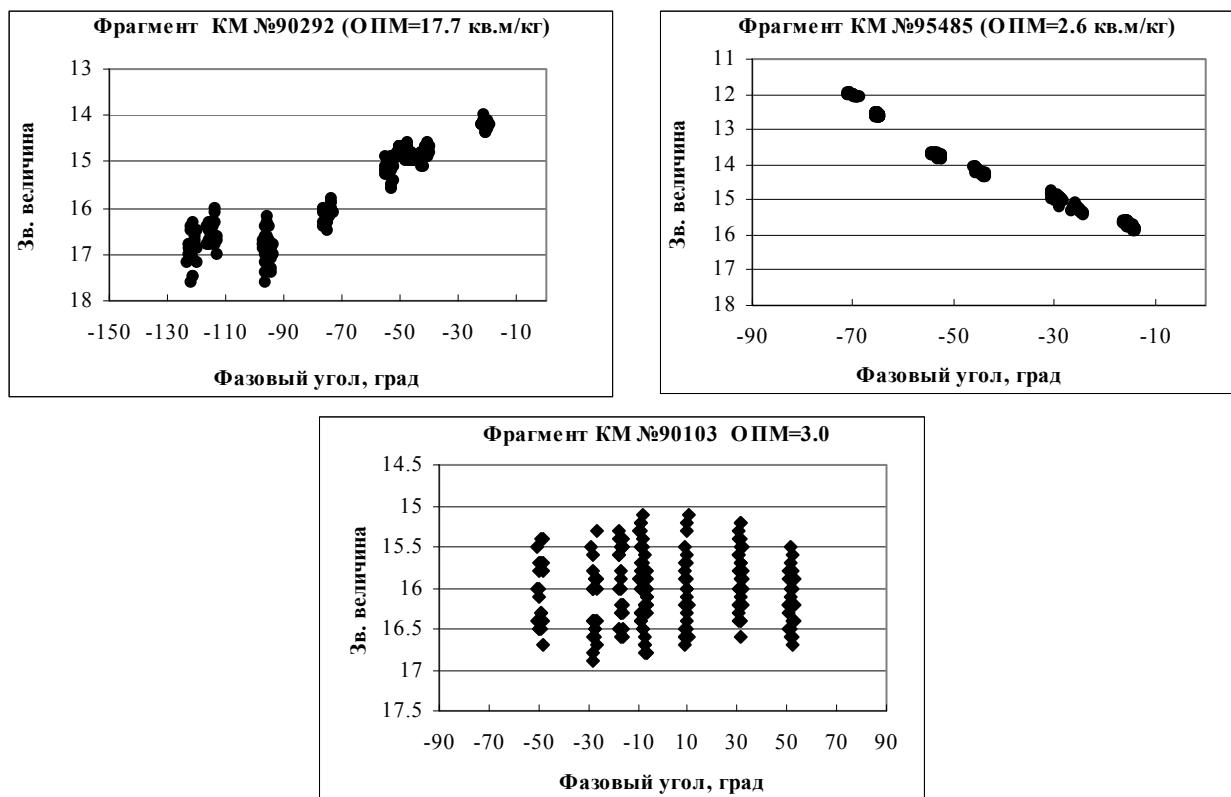


Рис. 32. Фазовые зависимости блеска фрагментов КМ

Анализ фотометрических характеристик КА и КМ, представленных в каталоге, позволяет классифицировать объекты, выявлять характерные признаки каждого класса и прослеживать их эволюцию со временем, своевременно обнаруживать отклонения КА от штатного режима функционирования, исследовать природу и происхождение КМ.

#### Публикации

1. Коробцев И.В., В.Е. Горяшин, М.Н. Мишина, М.В. Еселеевич. Результаты оптических наблюдений космических аппаратов на сверхвысоких орbitах // Тезисы IX международной конференции «Околоземная астрономия», Терскол, 2015. С. 87.
2. Еселеевич М.В., Амвросов А.Л., Караваев Ю.С., Клунко Е.В., Коробцев И.В., Мишина М.Н., Тергоев В.И., Цуккер Т.Г., Чупраков С.А. Телескопы Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН: состояние и перспективы // Тезисы международной конференции «Настоящее и будущее малых и средних телескопов», пос. Нижний Архыз, 19–22 октября 2015 г. С. 45.

**Разработка и экспериментальная отработка методов мониторинга околоземного космического пространства в области низких орбит радио- и оптическими средствами**

#### Разработка методики координированного обнаружения и сопровождения КО радио- и оптическими средствами

В продолжение работ по мониторингу низкоорбитальных КО на средствах радиооптического комплекса, включающего Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР, обсерватория ОРДА) и оптический телескоп АЗТ-33ИК (Саянская солнечная обсерватория, ССО), были разработаны методики координированного обнаружения и сопровождения КО с априори неизвестной траекторией движения. В этом режиме ИРНР

обнаруживает КО в процессе сканирования сектора наблюдения. При обнаружении объекта ИРНР продолжает его измерение вплоть до выхода из сектора наблюдения, при этом получаемые данные о положении КО в режиме реального времени передаются в центр управления и обработки (ЦУО) и далее в ССО для оперативного наведения оптического телескопа (рис. 33).

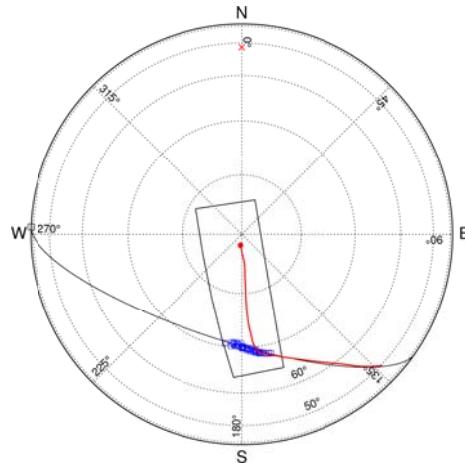


Рис. 33. Процесс наведения оптического телескопа по данным ИРНР (вид сверху): серая тонкая линия — траектория пролета КО, серый четырехугольник — проекция сектора обзора радара на высоте КО для НП ССО, синие квадраты — данные измерений радара, красная линия — траектория движения оптического телескопа, начинающее движение от красной точки в момент получения первого радарного измерения

Поступающие от ЦУО данные используются для расчета эфемериды, по которой выполняется движение оптического телескопа. Первоначально в качестве метода расчета применялась аппроксимация последних  $N$  измерений ( $N=20\dots40$ ) гладкой кривой (полином 1-й или 2-й степени) с экстраполяцией на будущие моменты времени (на 1–2 мин). Расчет выполняется независимо по прямому восхождению и склонению. Перед аппроксимацией может выполняться медианная фильтрация входных данных. После расчета эфемериды загружается в программу управления монтировкой и куполом телескопа. Пересчет и загрузка эфемериды выполняются каждый раз при получении нового блока данных от ЦУО (примерно 1 раз в секунду) (рис. 34). После получения последнего блока данных телескоп продолжает движение по последней из рассчитанных эфемерид.

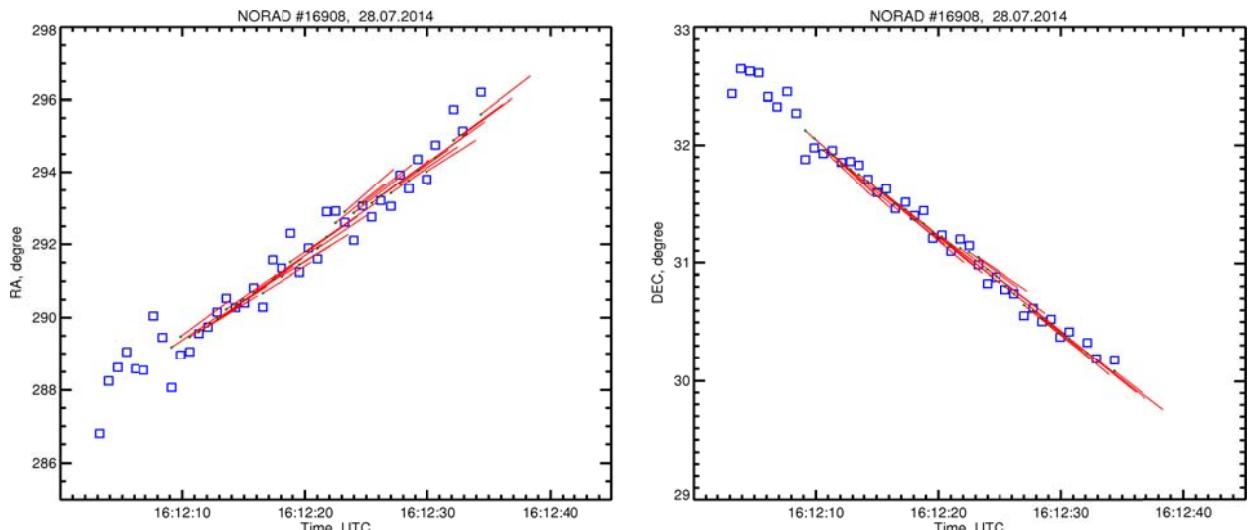


Рис. 34. Расчет траектории движения оптического телескопа по данным радарных измерений: синие квадраты — прямое восхождение и склонение КО, измеренные радаром; красные линии — аппроксимации радарных измерений, используемые как мгновенные эфемериды для наведения оптического телескопа

Однако натурные испытания показали, что мгновенные эфемериды, полученные таким методом, характеризуются достаточно большим разбросом, что приводит к нестабильной траектории движения оптического телескопа и, как следствие, к повышению вероятности смазывания изображения КО в оптоэлектронной системе. Еще одним недостатком метода является нарастающее расхождение между последней рассчитанной эфемеридой и реальной траекторией движения КО. В связи с этим методика была модифицирована — на стороне ИРНР был добавлен расчет круговой орбиты КО по имеющимся радарным измерениям (начиная с момента, когда получено достаточное для завязывания орбиты количество измерений). Элементы круговой орбиты вычисляются заново при получении на ИРНР каждого нового измерения и передаются в ЦУО наряду с самими измерениями. На стороне ССО при расчете траектории движения оптического телескопа старый метод аппроксимации по точкам используется только на начальной фазе наведения (несколько первых секунд), пока не начинают поступать блоки данных с элементами орбиты. Ожидается, что применение модифицированной методики и расчет эфемериды движения по элементам орбиты позволят повысить точность сопровождения КО и, следовательно, уменьшить размазывание изображения КО в оптоэлектронной системе регистрации, что положительно скажется на точности координатных измерений.

## **Экспериментальные исследования потенциально опасных объектов в Солнечной системе**

### **Исследование физических характеристик астероидов на основе анализа фотометрических измерений**

Изучение физических характеристик астероидов, сближающихся с Землей, представляет большой интерес. Во-первых, расширение знаний о физической природе этих объектов важно для понимания вопросов их происхождения и эволюции. Во-вторых, знание таксономического класса объектов, размеров, периода вращения и т. п. позволяет провести учет эволюции орбит опасных астероидов за счет негравитационных сил, а также оценить последствия возможного столкновения таких объектов с Землей. В-третьих, без знания этих характеристик нельзя разрабатывать стратегию противоастероидной защиты Земли.

По результатам фотометрических наблюдений в Саянской солнечной обсерватории потенциально опасного астероида 275677 во время его сближения с Землей в 2014 г. были определены период вращения астероида вокруг его центра масс, равный 0.18503 суткам, и найдена кривая блеска астероида.

В 2015 г. проводились фотометрические измерения блеска астероида 1988 BS3. Спектральный анализ изменения блеска астероида показал, что в спектре присутствуют две кратные частоты и частота (самая низкая), не кратная двум первым. Такой спектр может свидетельствовать о наличии у данного астероида спутника.

Проведены наблюдения с целью отработки методики определения блеска и цветов астероидов с использованием каталога UCAC-4. Определены коэффициенты перехода из системы каталога UCAC-4 в стандартную фотометрическую BVRI-систему. Полученное по этой методике значение цвета астероида 4055 показывает хорошее согласие с цветами астероидов данного спектрального типа.

### **Публикация**

Караваев Ю.С., Наблюдение и моделирование формы потенциально опасного астероида 275677 // Астрономический вестник. 2015. Т. 49, № 4. С. 308–311.

# Разработка и исследование специализированных узлов и систем широкоугольного телескопа АЗТ-33ВМ

## Разработка системы позиционирования телескопа АЗТ-33ВМ

Система позиционирования телескопа должна обеспечивать быстрое и точное наведение телескопа на заданный объект, а также сопровождение движения объектов по небесной сфере с требуемой точностью.

Система позиционирования телескопа АЗТ-33ВМ включает в себя следующие составляющие: блок управления двигателями главного привода; контроллеры датчиков положения телескопа.

### Блок управления двигателями главного привода

Во время проектирования блока управления приводами телескопа было решено применить следующие технические решения:

1. В качестве главных приводов для телескопа АЗТ-33ВМ использованы двигатели модели MDrive 34 производства фирмы Schneider Electric Motion (США). MDrive 34 — это шаговый двигатель, оснащенный собственным контроллером и силовой электроникой, обеспечивающей плавное вращение вала двигателя на медленной скорости (в режиме дробления шагов) и разгон оси вращения до требуемой по техническому заданию скорости.

2. Управление двигателями MDrive организовано через блок управления двигателями главного привода. Данный блок принимает команды через TCP/IP-соединение по каналу Ethernet, преобразует их в формат MCode (текстовый командный протокол для управления двигателями MDrive) и отправляет контроллеру двигателей MDrive через интерфейс RS-422 (данный интерфейс является штатным для двигателей модели MDrive).

3. Блок управления двигателями принимает команды через TCP/IP-соединение по стандартному управляющему протоколу, уже реализованному на действующем телескопе АЗТ-33ИК.

Представленные технические решения обеспечивают полную взаимозаменяемость систем позиционирования на телескопах АЗТ-33ИК и АЗТ-33ВМ. Кроме того, в данном случае не требуется изменений в программе управления телескопом (так как управляющий протокол остается прежним), что дает возможность использовать все программное обеспечение прикладного уровня с телескопа АЗТ-33ИК.

Блок-схема блока управления двигателями главного привода приведена на рис. 35.

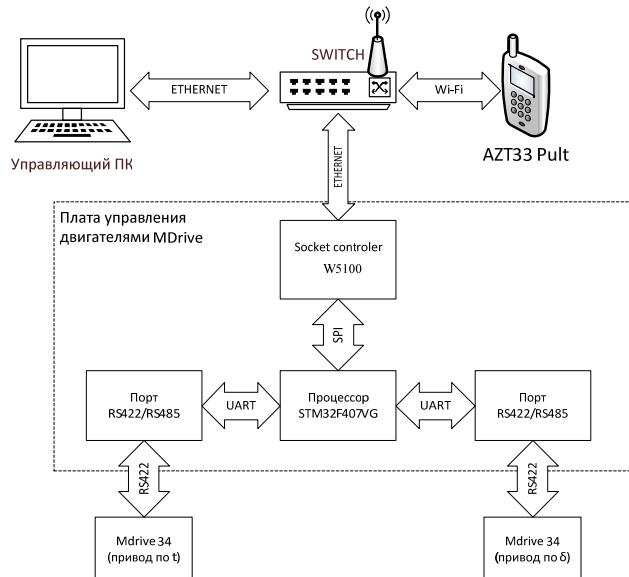


Рис. 35. Блок-схема системы управления двигателями

## Контроллеры датчиков положения

Датчики положения телескопа по двум осям разработаны на основе серийно изготавливаемых однооборотных абсолютных датчиков углового положения Kubler 5853. Для их адаптации к системе управления телескопом был разработан контроллер датчика. Структурная схема контроллера датчика приведена на рис. 36.

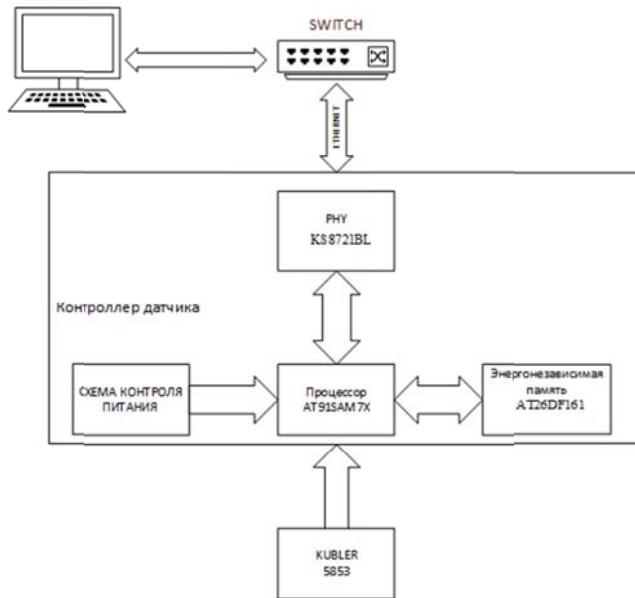


Рис. 36. Структурная схема контроллера датчика

Во время позиционирования телескопа программа управления с компьютера по каналу Ethernet и протоколу TCP/IP запрашивает у контроллера состояние датчика. Контроллер возвращает 32-разрядное положение датчика, куда входит 14 разрядов текущего положения датчика Kubler 5853 и 18 разрядов количества полных оборотов датчика. Полные обороты датчика контроллер датчика считает в процессе работы и сохраняет их в энергонезависимой памяти при выключении питания.

По результатам испытаний на телескопе А3Т-33ВМ система позиционирования показала полное соответствие предъявляемым к ней требованиям. Двигатели MDrive прошли нагружочные испытания на телескопе с полным комплектом установленного оборудования. Датчики положения телескопа были откалиброваны, что позволяет наводить телескоп по небесным координатам объектов с требуемой точностью.

### 3.5. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей

**Вариации жесткостного спектра, анизотропии галактических КЛ и планетарной системы жесткостей геомагнитного обрезания в периоды мощнейших геомагнитных возмущений 23-го цикла солнечной активности**

По данным измерений интенсивности космических лучей (КЛ) на мировой сети станций произведено сравнение поведения вариаций интенсивности, анизотропии галактических КЛ (ГКЛ), а также изменений планетарной системы жесткостей геомагнитного обрезания (ЖГО). Рассмотрено поведение КЛ во время геомагнитных бурь с  $D_{st}$ -индексом ниже  $-300$  нТл: 16.07.2000 г., 31.03.2001, 29.10.2003, 20.11.2003 и 08.11.2004 г.

Магнитная буря с  $D_{st} = -301$  нТл 16 июля 2000 г. вызвана КВМ от вспышки на Солнце 14.07.2000 г. класса X5.7 в активной области с координатами  $22^\circ$  N и  $07^\circ$  W. Скорость солнечного ветра (СВ) на орбите Земли достигала  $\sim 1030$  км/с, модуль межпланетного

магнитного поля (ММП) —  $\sim 48$  нТл, а  $B_z$ -компоненты ММП была положительной и достигала  $\sim 30.9$  нТл.

Магнитная буря с  $D_{st} = -387$  нТл 31 марта 2001 г. вызвана КВМ от вспышки на Солнце 29.03.2001 г. класса X1.7 в активной области с координатами  $20^\circ$  N и  $19^\circ$  W. Скорость СВ на орбите Земли достигала  $\sim 716$  км/с, модуль ММП —  $\sim 48.2$  нТл, а  $B_z$ -компоненты ММП была отрицательной и достигала  $\sim -46.3$  нТл.

28 октября 2003 г. в активной области 00486 (координаты  $16^\circ$  S,  $08^\circ$  E) произошла вспышка X17.2/4B, которая сопровождалась мощными радиовсплесками и ускорением заряженных частиц до энергии  $>7$  ГэВ. Поток протонов с энергией  $>10$  МэВ, измеренный на спутниках GOES, значительно превысил 10000 pfu (1 pfu=частиц  $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}\text{ср}^{-1}$ ), что соответствует радиационной буре 4-й категории, и позднее достиг максимального значения 29500 pfu. Во время вспышки наблюдался очень большой, плотный и быстрый выброс солнечного вещества со скоростью  $>2100$  км/с. Межпланетная ударная волна достигла Земли 29 октября в 6:13 UT, всего через 19 ч после вспышки. Это самый быстрый приход межпланетного возмущения с 1972 г. После прихода ударной волны началась исключительно большая магнитная буря, в первые часы  $K_p$ -индекс геомагнитной активности достиг предельно высокого значения 9; 30 октября  $D_{st}$ -индекс составил  $-401$  нТл.

Вспышка в группе 00486 (00508) была 18 ноября 2003 г. на восточном лимбе (M4). В это же время в области 00501 в центре диска произошли две продолжительные вспышки (M3.2/2N; M3.9), сопровождавшиеся мощными выбросами вещества. Двадцатого ноября 2003 г. началась очень большая буря, связанная со вспышками 18 ноября 2003 г. (как минимум с двумя центральными, а возможно, со всеми тремя),  $D_{st}$ -индекс понизился до  $-465$  нТл.

Хотя вспышки на Солнце 28 октября и 18 ноября 2003 г. произошли в одних и тех же активных областях, событие 20 ноября 2003 г. существенно отличается от событий в конце октября 2003 г. Событие 20 ноября 2003 г. ни в жестком рентгеновском, ни в гамма-, ни в микроволновом излучении, ни в потоках протонов, ни в параметрах СВ не достигло значений, наблюдавшихся 29–31 октября 2003 г.

В результате вспышек на Солнце в середине ноября в межпланетном пространстве образовалось магнитное облако в виде сферомака, не связанное с Солнцем, в которое 20 ноября попала Земля.

В конце октября — начале ноября 2004 г. наблюдалось резкое увеличение солнечной активности, по своим параметрам относящееся к экстремальным. Всплеск солнечной активности в ноябре 2004 г. привел к значительным спорадическим вариациям КЛ, хотя и меньшим по амплитуде по сравнению с событиями в 2003 г. В этот период наблюдалось три солнечных вспышки класса X, мощный форбуш-эффект и сильная магнитная буря с внезапным началом. По данным NOAA в это время выбросы солнечного вещества с частичным или полным гало происходили почти ежедневно, в основном из активной области 10696, так что в межпланетном пространстве постоянно присутствовали 2–3 возмущения, как правило, создававшие ударные волны. Последовавшие за ними возмущения сопровождались резким повышением скорости СВ до 700–800 км/с и усилением ММП до 40–45 нТл, что привело к значительным вариациям геомагнитной активности: во время бури 8 ноября  $D_{st}$ -индекс понижался до  $-373$  нТл, а  $K_p$ -индекс достигал 9. Эта ситуация, естественно, отразилась в поведении ГКЛ, проявившись в серии форбуш-эффектов. Наиболее значительными с глубиной понижения 7.3 % и 8.1 % оказались форбуш-эффекты после третьей и четвертой ударных волн. Магнитосферный эффект, как правило, проявляется на средне- и низкоширотных станциях и практически не виден на станциях с жесткостью геомагнитного обрезания  $<2$ –2.5 ГВ. В данном же случае возрастание интенсивности КЛ наблюдалось как на среднеширотных, так и на высокоширотных нейтронных мониторах (за исключением самых восточных) и даже на полярных станциях.

На рис. 37 приведены спектры вариаций КЛ в периоды форбуш-эффектов на разных стадиях исследуемых событий — фазах спада, максимальной модуляции и восстановления. Для всех представленных случаев по мере развития событий максимум понижения ин-

тенсивности КЛ смещается из диапазона жесткостей  $\sim 3-8$  ГВ в сторону уменьшения, а после фазы максимальной модуляции возвращается в начальную область жесткостей.

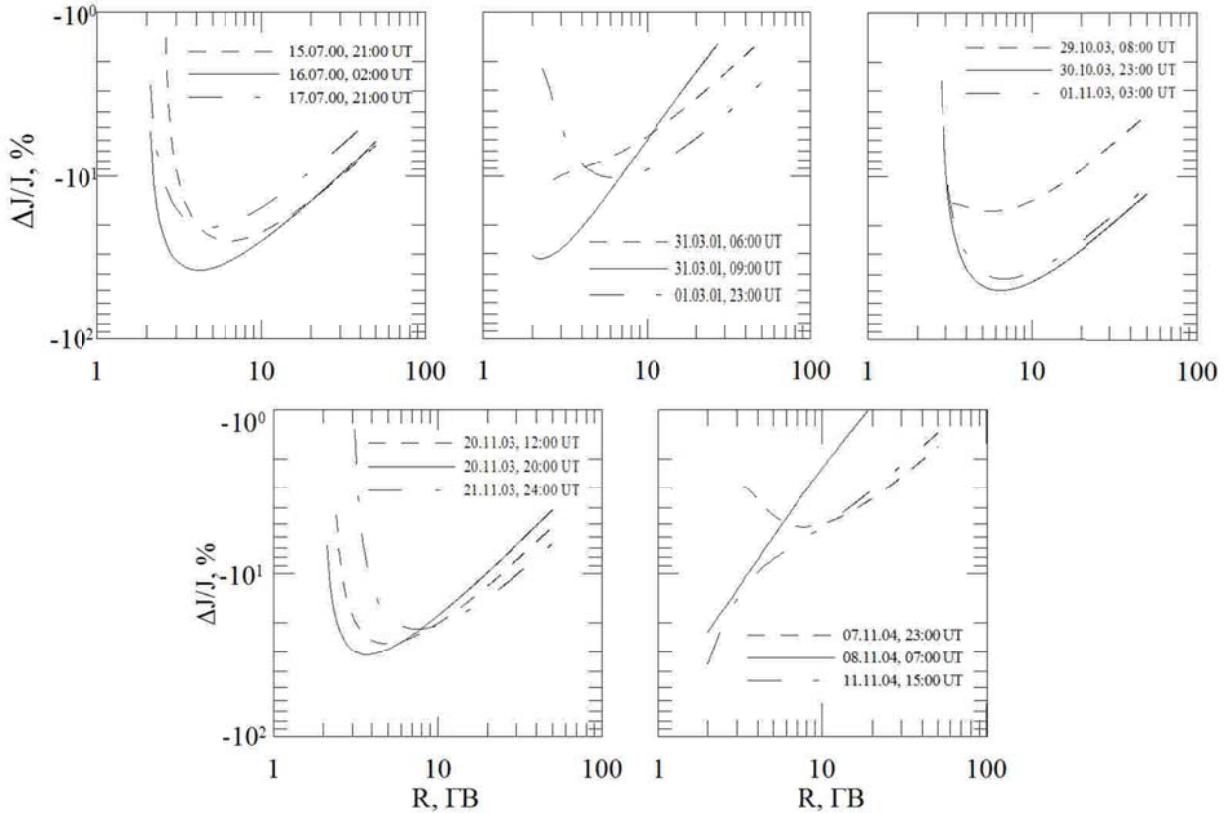


Рис. 37. Спектры вариаций КЛ в периоды форбуш-эффектов. Сплошная линия — фаза максимальной модуляции КЛ, штриховая и штрихпунктирная линии — фазы спада и восстановления соответственно

На рис. 37 видно, что вид спектров амплитуд модуляции не является степенным в области жесткостей от  $\sim 2$  ГВ и выше. Исключение составляют фазы спада и максимальной модуляции в период форбуш-эффекта 31 марта 2001 г. и фаза максимальной модуляции в период форбуш-эффекта 8 ноября 2004 г. Тем не менее мы рассчитали показатели спектра при его представлении степенной функцией по жесткости частиц в диапазоне от 10 до 50 ГВ, где как следует из рис. 37, спектр вариаций КЛ в двойном логарифмическом масштабе близок к прямой линии.

В табл. 1 представлен этот параметр для разных фаз исследуемых форбуш-эффектов, а также результаты расчетов по данным мировой сети станций КЛ методом СГС. Видно, что показатели спектра для рассмотренных эффектов находятся в диапазоне от  $\sim -0.7$  до  $\sim -1.3$ , что не противоречит результатам [Кузьмин А.И. Вариации космических лучей и солнечная активность. 1968; Крымский Г.Ф. Модуляция космических лучей в межпланетном пространстве. 1969], но только в диапазоне энергий выше  $\sim 10$  ГэВ. Для всех рассмотренных случаев форбуш-эффектов показатели спектра отличаются друг от друга. Общим для всех рассмотренных случаев является наибольшее значение показателя степени в конкретном событии для фазы максимальной модуляции по отношению к фазам спада и восстановления.

На рис. 38 представлены относительные изменения интенсивности КЛ с  $R=4$  ГВ в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат для различных моментов времени (спад интенсивности, фаза максимума эффекта, фаза восстановления). По оси абсцисс отложены значения долготного угла  $\psi$ , а по оси ординат — широтного угла  $\lambda$ . Цифры на оси Z указывают значения амплитуд вариаций интенсивности частиц в процентах к

фоновому уровню. Из рис. 38 видно, что в четырех из пяти событий присутствует вторая гармоника питч-углового распределения КЛ. В событии 20 ноября 2003 г. двунаправленная анизотропия отсутствует.

Событие	Максимальная амплитуда модуляции ГКЛ на границе магнитосферы Земли, %			Показатель спектра вариаций в диапазоне жесткостей 10–50 ГВ (дата; время (UT))			Наличие двунаправленной анизотропии	Максимальное понижение ЖГО в Иркутске, ГВ (дата; время (UT))	Максимальная величина $D_{st}$ -индекса, нГл (дата; время (UT))	Коэффициент корреляции между изменениями пороговой ЖГО в Иркутске и $D_{st}$ -индексом
	Фаза форбуш-эффекта			Спад	Максимальная модуляция	Восстановление				
Июль 2000	~–40 (16.07; 09:00)	~–26 (16.07; 05:00)	–0.79	–0.88	–0.85	Да	–1.2 (15.07; 22:00)	–301 (16.07; 01:00)	~0.85	
Март 2001	~–22 (31.03; 10:00)	~–10 (31.03; 19:00)	–0.86	–1.31	–0.82	Да	–0.6 (31.03; 09:00)	–387 (31.03; 09:00)	~0.75	
Октябрь 2003	~–55 (30.10; 13:00)	~–52 (30.10; 15:00)	–0.70	–0.83	–0.72	Да	–2.0 (29.10; 14:00)	–353 (30.10; 01:00)	~0.34	
Ноябрь 2003	~–28 (20.11; 11:00)	~–20 (20.11; 12:00)	–0.82	–0.93	–0.81	Нет	–1.9 (20.11; 21:00)	–422 (20.11; 21:00)	~0.94	
Ноябрь 2004	~–24 (08.11; 16:00)	~–5 (08.11; 21:00)	–0.75	–1.29		Да	–0.5 (08.11; 05:00) (10.11; 11:00)	–374 (08.11; 07:00)	~0.90	

Повышенные значения амплитуд двунаправленной анизотропии являются признаком прохождения КВМ с петлеобразной структурой ММП. Если не сформирована петлеобразная структура ММП в магнитной ловушке, то эффект повышения амплитуды второй гармоники питч-угловой анизотропии будет отсутствовать, что наблюдается в ноябре 2003 г., когда 20 ноября Земля попала в магнитное облако в виде сферомака, не связанное с Солнцем. В периоды других рассмотренных нами эффектов Земля находилась в области КВМ с петлеобразной структурой ММП.

Строение полного геомагнитного поля, в котором движутся частицы КЛ, определяет характер планетарного распределения КЛ и его временную зависимость от этого поля. Изменения геомагнитного поля во время возмущений приводят к изменениям планетарной системы ЖГО, что влияет на интенсивность КЛ, наблюдаемую на мировой сети станций.

Форбуш-эффекты и геомагнитные возмущения вызываются одними и теми же возмущениями межпланетной среды. С увеличением напряженности ММП, скорости и плотности СВ усиливается как геомагнитная активность, так и модуляция КЛ. Но для развития геомагнитной бури существенное значение имеет знак  $B_z$ -составляющей ММП. Кроме того, надо отметить, что форбуш-эффект определяется условиями в протяженной гелиосферной области, тогда как геомагнитная активность зависит от локальной ситуации вблизи Земли. Возмущение СВ, способное вызвать магнитную бурю, не может не влиять на КЛ. Считается, что каждой геомагнитной буре соответствует форбуш-эффект, однако нередко это явление наблюдается без геомагнитной бури.

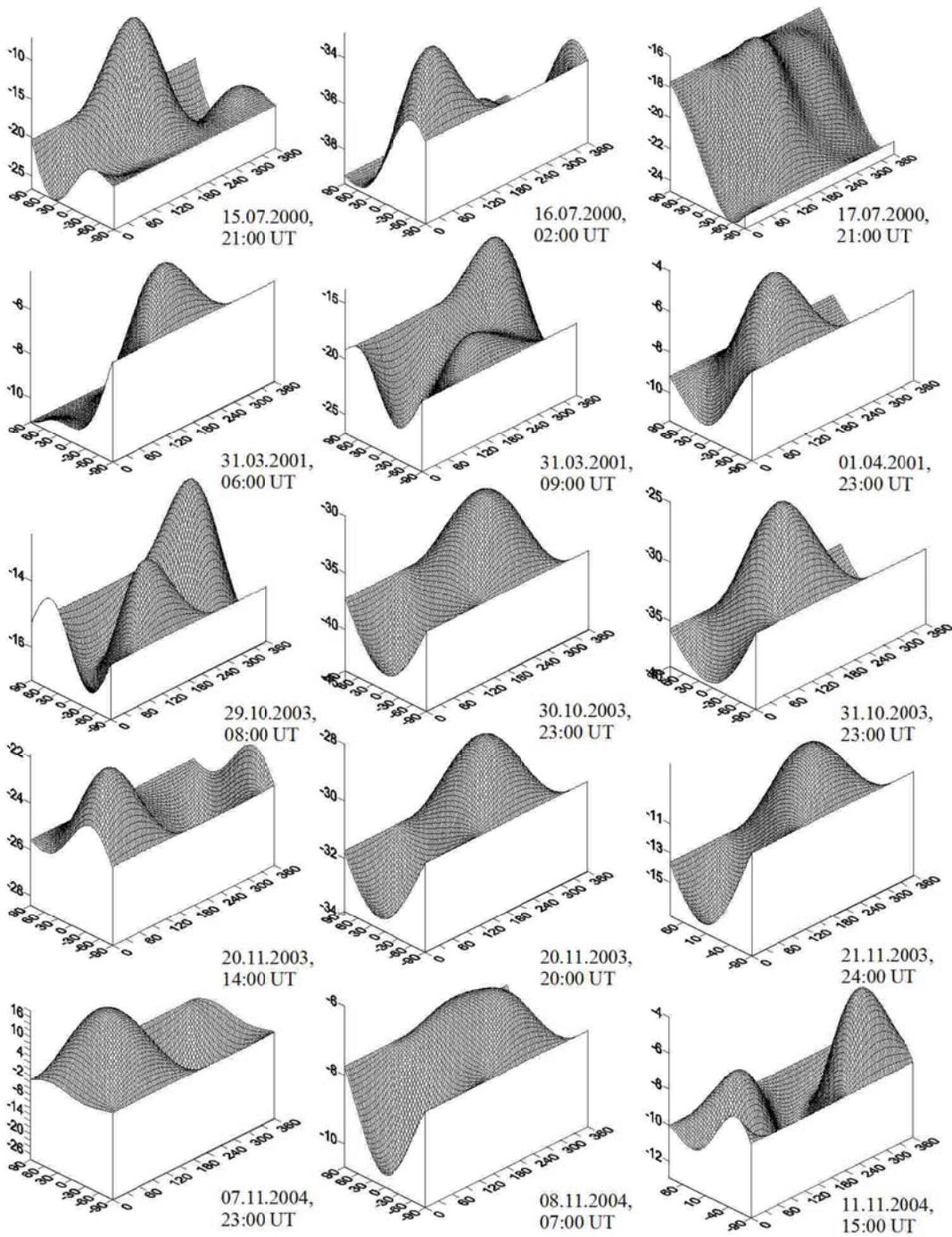


Рис. 38. Относительные изменения интенсивности КЛ для частиц с жесткостью 4 ГВ в солнечно-эклптической геоцентрической системе координат на фазах спада, максимальной модуляции и восстановления интенсивности КЛ

На рис. 39 представлены зависимости изменения пороговой ЖГО от пороговой жесткости для фаз спада, максимальной модуляции интенсивности КЛ и восстановления. Видно, что для всех событий наибольшие изменения пороговой ЖГО произошли на фазе максимальной модуляции КЛ (по сравнению с фазами спада и восстановления интенсивности КЛ). При этом в каждом событии изменения пороговых ЖГО и их зависимость от пороговой жесткости индивидуальны и не имеют ярко выраженного подобия. Максимальные значения понижений ЖГО в рассмотренных событиях лежат в диапазоне от  $\sim 0.4$  до 2.3 ГВ.

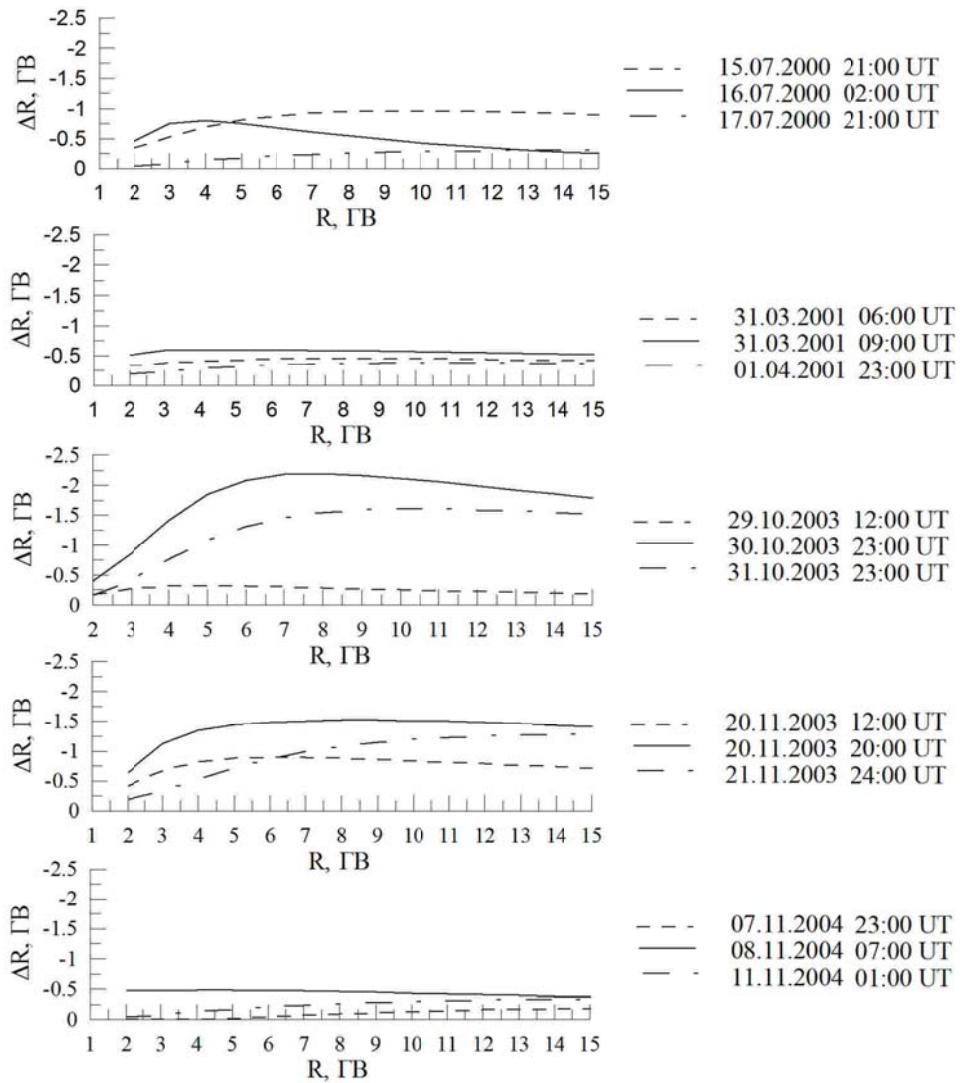


Рис. 39. Зависимость изменений пороговой ЖГО  $\Delta R$  от пороговых жесткостей  $R$  в разные периоды форбуш-эффектов: сплошная линия — фаза максимальной модуляции КЛ, штриховая и штрихпунктирная линии — фазы спада и восстановления, соответственно.

На главной фазе магнитной бури в июле 2000 г. на станции КЛ в Иркутске пороговая ЖГО уменьшилась на  $\sim 0.8$ – $1.0$  ГВ. Коэффициент корреляции между рассчитанными изменениями пороговой ЖГО в Иркутске ( $R_c=3.66$  ГВ) и  $D_{st}$ -индексом 15–18 июля равен 0.85.

31 марта — 1 апреля 2001 г. произошла сильная геомагнитная буря с максимальным значением  $D_{st}$ -индекса около  $\sim -387$  нТл ( $B_z \sim -40$  нТл). Максимальное изменение пороговой ЖГО в Иркутске ( $R_c=3.66$  ГВ) составило  $\sim -0.7$  ГВ, а временной ход изменений ЖГО коррелирует с  $D_{st}$ -вариацией (коэффициент корреляции  $\sim 0.75$ ).

В 29 октября 2003 г. и 20–21 ноября 2003 г. имели место сильные геомагнитные бури со значениями  $D_{st}$ -индекса  $\sim -400$  нТл. При этом  $B_z$ -составляющая ММП изменялась от положительных значений к отрицательным и 29 октября достигла около  $\sim -25$  нТл за  $\sim 12$  ч, а 20–21 ноября — около  $-45$  нТл за  $\sim 4$  ч. Изменения пороговой ЖГО в Иркутске ( $R_c=3.66$  ГВ) 29 октября слабо коррелируют с  $D_{st}$ -вариацией (коэффициент корреляции  $\sim 0.34$ ), а 20–21 ноября между ними наблюдается высокая корреляция (коэффициент корреляции  $\sim 0.94$ ). Максимальное изменение пороговой ЖГО в Иркутске в эти периоды составило  $\sim -1$  ГВ. Максимальное понижение пороговой ЖГО 20 ноября произошло через 2 ч после того, как на орбите Земли наблюдалось максимальное понижение интенсивности КЛ с жесткостью 4 ГВ.

В событии в ноябре 2004 г. временные профили изменений ЖГО соответствуют изменениям  $D_{st}$ -индекса. Максимальное изменение пороговой ЖГО в Иркутске в эти периоды составило  $\sim -0.5$  ГВ. Максимальные понижения пороговых жесткостей в период магнитной бури наблюдались одновременно с минимальными значениями  $D_{st}$ -индекса. Наблюдается высокая корреляция (коэффициент корреляции  $\sim 0.9$ ) между изменениями ЖГО и  $D_{st}$ -индексом.

В результате проведенного анализа показано:

- характеристики исследованных форбуш–эффектов отличаются для каждого события, так как эти события имеют различные солнечные источники характеризуются различными размерами межпланетного возмущения и условиями распространения возмущения в межпланетной среде;
- из пяти исследованных событий четыре обусловлены КВМ с петлеобразной магнитной структурой, а одно событие обусловлено магнитным облаком в виде сферомака, не связанным с Солнцем;
- показатели спектра вариаций при представлении спектра степенной функцией по жесткости частиц в диапазоне от 10 до 50 ГВ имеют наибольшее значение в конкретном событии для фазы максимальной модуляции по отношению к фазам спада и восстановления;
- изменения ЖГО в большинстве исследованных геомагнитных бурь хорошо коррелируют с вариациями  $D_{st}$ -индекса, что говорит об основном вкладе в эти величины одинаковых источников. Низкая корреляция изменений ЖГО с вариациями  $D_{st}$ -индекса в октябре 2003 г. может быть объяснена наложением нескольких форбуш–понижений, а также тем, что в магнитосфере с приходом дополнительного потока энергичных протонов от Солнца могли развиваться токовые системы, которые дали разный вклад в изменения ЖГО и в вариации  $D_{st}$ -индекса.

### **Публикация**

Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Космические лучи в периоды гигантских геомагнитных бурь 23 цикла солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия (в печати).

### **GLE55**

6 ноября 1997 г. на Солнце в активной области 8100 с координатами S18°, W63° произошла вспышка класса B2/X9.4. В линии Hα начало вспышки наблюдалось в 11:49 UT с максимумом в  $\sim 11:55$  UT. Во время вспышки наблюдалось сильное гамма–излучение, которое было импульсным и длилось  $\sim 4$  мин. Данное событие вызвало КВМ, имевший скорость 1726 км/с и повышение интенсивности КЛ на мировой сети станций (GLE55). В это время геомагнитная обстановка была спокойной. Повышение интенсивности КЛ на высокоширотных нейтронных мониторах началось в  $\sim 12:10$  UT. По 5–минутным данным нейтронных мониторов на высокоширотной станции «Апатиты» (вертикальная жесткость геомагнитного обрезания ( $R_c$ ) в этом пункте равна 0.6 ГВ) максимальная амплитуда возрастания интенсивности КЛ составила 10.4 % в 13:45–13:50 UT, на среднеширотной станции «Иркутск» ( $R_c=3.66$  ГВ) — 4.7 % в 13:05–13:10 UT, а на низкоширотной станции «Мехико» ( $R_c=9.53$  ГВ) — 0.9 % в 12:35–12:40 UT. Максимальная амплитуда повышения интенсивности КЛ наблюдалась на ст. «Южный Полюс» (2820 м над уровнем моря,  $R_c=0.09$  ГВ) и по 2-минутным данным в 14:34–14:36 UT и в 15:02 UT составила  $\sim 18$  %.

По данным мировой сети нейтронных мониторов, исправленных на давление и усредненных за часовые интервалы, и часовых данных с КА GOES-9 (потоки протонов в семь энергетических интервалах: 0.8–4 МэВ, 4–9 МэВ, 9–15 МэВ, 15–40 МэВ, 40–80 МэВ, 80–165 МэВ и 165–500 МэВ) исследованы вариации жесткостного спектра и анизотропия КЛ в период наземного возрастания интенсивности КЛ (GLE) 6 ноября 1997 г.

На рис. 40 приведен временной ход часовых значений амплитуд вариаций нейтронной компоненты КЛ на отдельных станциях мировой сети в зависимости от пороговой жесткости геомагнитного обрезания в период GLE55; временной ход часовых значений

интенсивности протонов, зарегистрированных на КА GOES-9 в энергетических диапазонах 40–80, 80–165 и 165–500 МэВ; рассчитанные методом СГС часовые вариации изотропной составляющей интенсивности первичных КЛ и амплитуды первой ( $A_1$ ) и второй ( $A_2$ ) гармоник питч-углового распределения КЛ с жесткостью 4 ГВ.

Из рис. 40, *a* видно, что на высокоширотной станции «Апатиты» (высота наблюдения 177 м,  $R_c=0.6$  ГВ) амплитуда эффекта в часовом осреднении  $\sim 7$  %, на среднеширотной станции «Иркутск» (высота наблюдения 465 м,  $R_c=3.66$  ГВ) амплитуда эффекта  $\sim 1.5$  %, а на низкоширотной станции «Мехико» (высота наблюдения 2274 м,  $R_c=9.53$  ГВ) амплитуда эффекта менее 1 %. Увеличения амплитуды вариаций КЛ на ст. «Мехико» говорит о том, что на орбиту Земли пришли протоны, ускоренные до жесткостей свыше  $\sim 10$  ГВ.

В момент GLE (рис. 40, *b*) потоки протонов на орбите Земли в диапазонах 40–80, 80–165 и 165–500 МэВ выросли на  $\sim 1.5$ –2 порядка.

Из рис. 40, *c* следует, что поток протонов с жесткостью 4 ГВ на границе магнитосферы Земли в 14:00 UT увеличился на  $\sim 27$  % по сравнению с потоком в 12:00 UT. Непосредственно перед началом GLE в 13:00 UT наблюдается повышение амплитуды первой сферической гармоники питч-углового распределения КЛ с жесткостью 4 ГВ ( $A_1$ ) до  $\sim 27$  %. В момент GLE (в 14:00 UT) возросла амплитуда двунаправленной анизотропии ( $A_2$ ) до  $\sim 4$  % (рис. 40, *e*), что свидетельствует о петлеобразной структуре ММП.

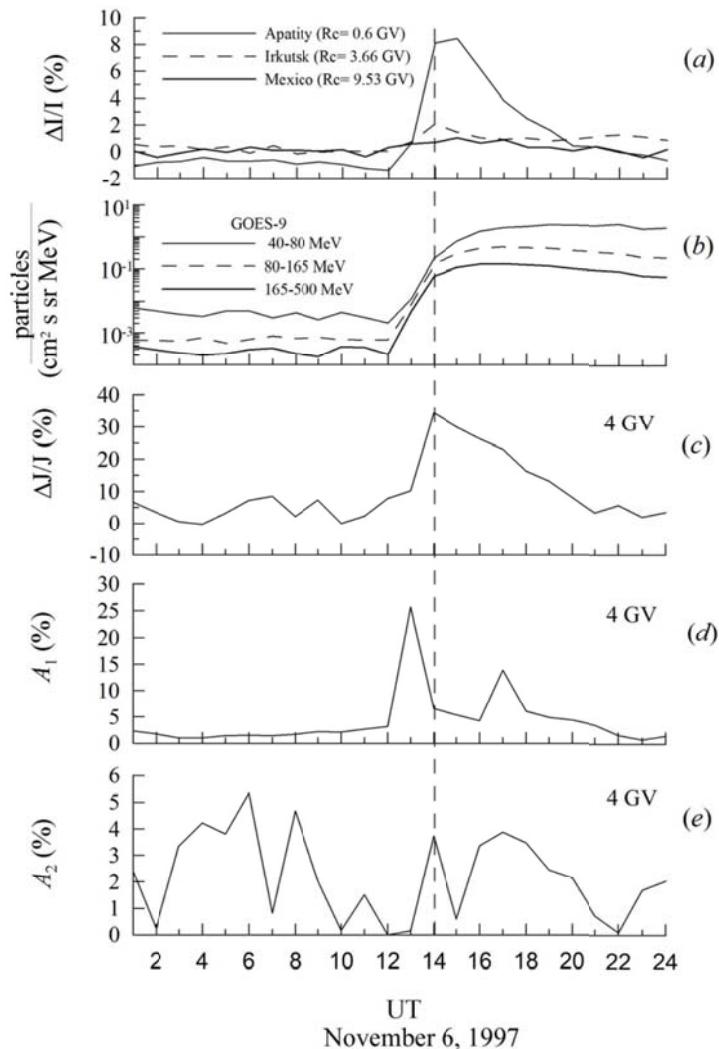


Рис. 40. временные хода амплитуд вариаций нейтронной компоненты КЛ на отдельных станциях мировой сети (*a*); временной ход интенсивности протонов, зарегистрированных на КА GOES-9 в энергетических диапазонах 40–80, 80–165 и 165–500 МэВ (*b*); вариации изотропной составляющей интенсивности первичных КЛ с жесткостью 4 ГВ(*c*); амплитуды первой  $A_1$  (*d*) и второй  $A_2$  (*e*) гармоник питч-углового распределения КЛ с жесткостью 4 ГВ

На рис. 41 представлены дифференциальные жесткостные спектры КЛ в отдельные моменты времени события 6 ноября 1997 г. Видно, что спектры протонов на орбите Земли в период GLE не являются степенными в широком диапазоне энергий. Тем не менее некоторые авторы в предположении, что спектр СКЛ в период GLE степенной (см., например, [Мирошниченко и др., Геомагнетизм и аэрономия. 2013. Т. 53, № 5. С. 579–600]) для характеристики события оперируют величиной показателя степенного спектра ( $\gamma$ ). Так в работе [Мирошниченко и др., Геомагнетизм и аэрономия. 2013. Т. 53, № 5. С. 579–600] в период GLE55 для «медленной» компоненты приведено значение  $\gamma \sim -4.6$ , а в работе [Lockwood Solar Phys. 2002. Vol. 208, N 1. P. 113–140] авторы рассчитали разными методами показатель жесткостного степенного спектра в диапазоне жесткостей 1–10 ГВ и для GLE55 получили значения от  $-6.0$  до  $-7.3$ . Мы аппроксимировали полученные нами спектры КЛ степенной функцией по жесткости в диапазоне 1–10 ГВ, как видно, что эти спектры не являются степенными. Кроме того, мы разбили жесткостной интервал 1–10 ГВ на два участка 1–3 и 3–10 ГВ, на которых спектры близки к степенным, и также рассчитали для этих диапазонов показатель спектра (табл. 2).

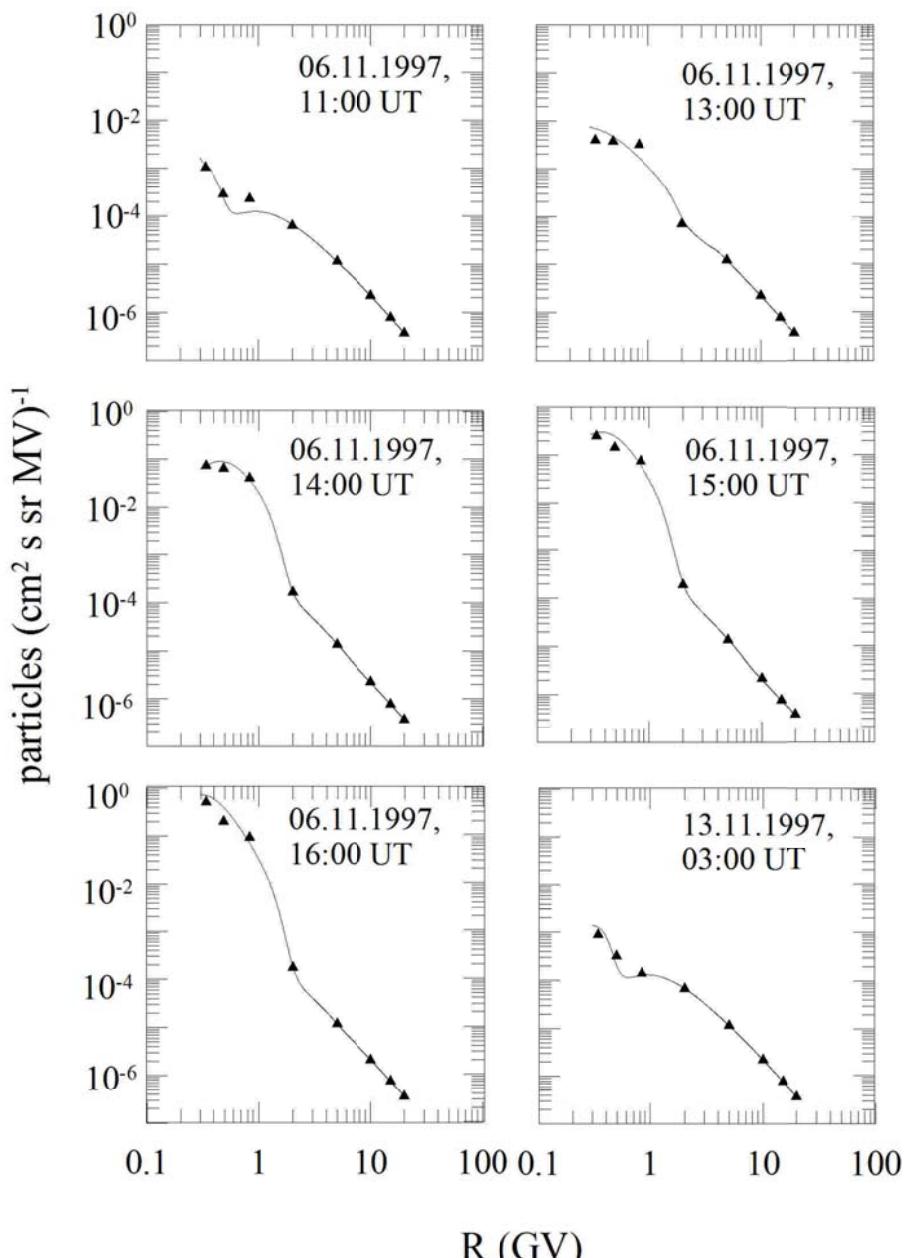


Рис. 41. Дифференциальные жесткостные спектры КЛ: сплошная кривая — результаты расчетов, треугольники — данные наблюдений

Таблица 2. Показатель степени жесткостного спектра КЛ в период GLE55

Время (UT)	Жесткостной интервал (ГВ)		
	1–10	1–3	3–10
13:00	–2.54	–3.42	–2.39
14:00	–3.38	–6.06	–2.73
15:00	–3.43	–6.35	–2.71
16:00	–3.43	–6.41	–2.71

Из табл. 2 видно, что при рассмотрении спектров КЛ в указанных диапазонах жесткостей как степенных по мере развития GLE спектры смягчаются. На начальной стадии данного события (GLE55) спектр КЛ наиболее жесткий. Полученные значения показателя степени в диапазоне жесткостей 1–3 ГВ близки к значениям из работы [Lockwood, 2002] для более широкого диапазона жесткостей. Это можно объяснить тем, что в работе [Lockwood, 2002] результаты получены по данным двух станций КЛ, разнесенных по пороговой жесткости геомагнитного обрезания всего на 0.2 ГВ (Гора Вашингтон,  $R_c=1.41$  ГВ и Дурхэм  $R_c=1.59$  ГВ), а по высоте – на 1900 м. По нашему мнению, этого недостаточно для получения спектров КЛ в диапазоне жесткостей 1–10 ГВ. Скорее всего, полученный в [Lockwood, 2002] показатель жесткостного спектра КЛ относится к более узкому диапазону жесткостей, близкому к диапазону 1–3 ГВ.

На рис. 42 представлены спектры вариаций первичных КЛ в разные моменты времени в период GLE55. Видно, что спектры вариаций КЛ не описываются ни степенной, ни экспоненциальной функцией от жесткости частиц. Максимальная жесткость ускоренных протонов 6 ноября 1997 г. (GLE55) в 13:00 UT составила  $\sim 10$ –12 ГВ, а в последующие моменты уменьшилась до  $\sim 8$ –9 ГВ.

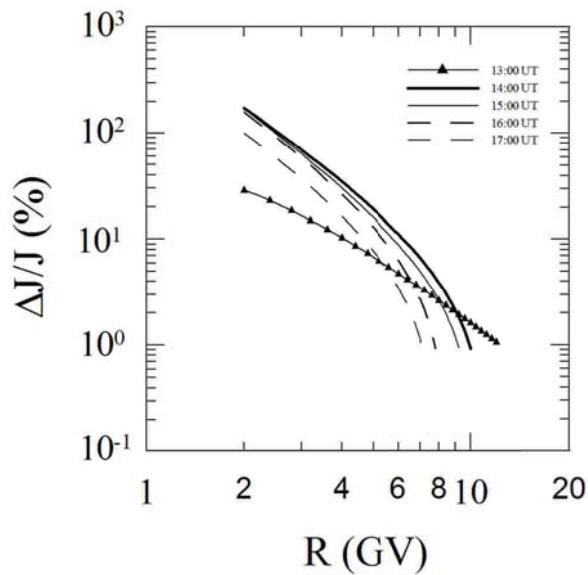


Рис. 42. Спектры вариаций КЛ на разных фазах развития GLE55

На рис. 43 приведены относительные изменения интенсивности КЛ с жесткостью 4 ГВ в зависимости от асимптотических направлений в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат в отдельные моменты времени GLE55 6 ноября 1997 г. Как следует из рисунка, в 11:00–13:00 UT доминирует первая гармоника. В это время интенсивность КЛ была повышена на  $\sim 7$  % из направления  $\psi \sim 135^\circ, \lambda \sim 25^\circ$ , на  $\sim 12$  % из направления  $\psi \sim 200^\circ, \lambda \sim 25^\circ$  и на  $\sim 17$  % из направления  $\psi \sim 140^\circ, \lambda \sim 35^\circ$ . В 14:00 UT ярко выражена двунаправленная анизотропия с повышенной интенсивностью из направлений  $\psi \sim 90^\circ, \lambda \sim 5^\circ$ ;  $\psi \sim 250^\circ, \lambda \sim 40^\circ$  и

$\psi \sim 110^\circ$ . В 15:00–16:00 UT снова видна первая гармоника, интенсивность КЛ была повышенена на  $\sim 35\%$  из направлений  $\psi \sim 185^\circ$ ,  $\lambda \sim 25^\circ$  и  $\psi \sim 185^\circ$ ,  $\lambda \sim 65^\circ$ .

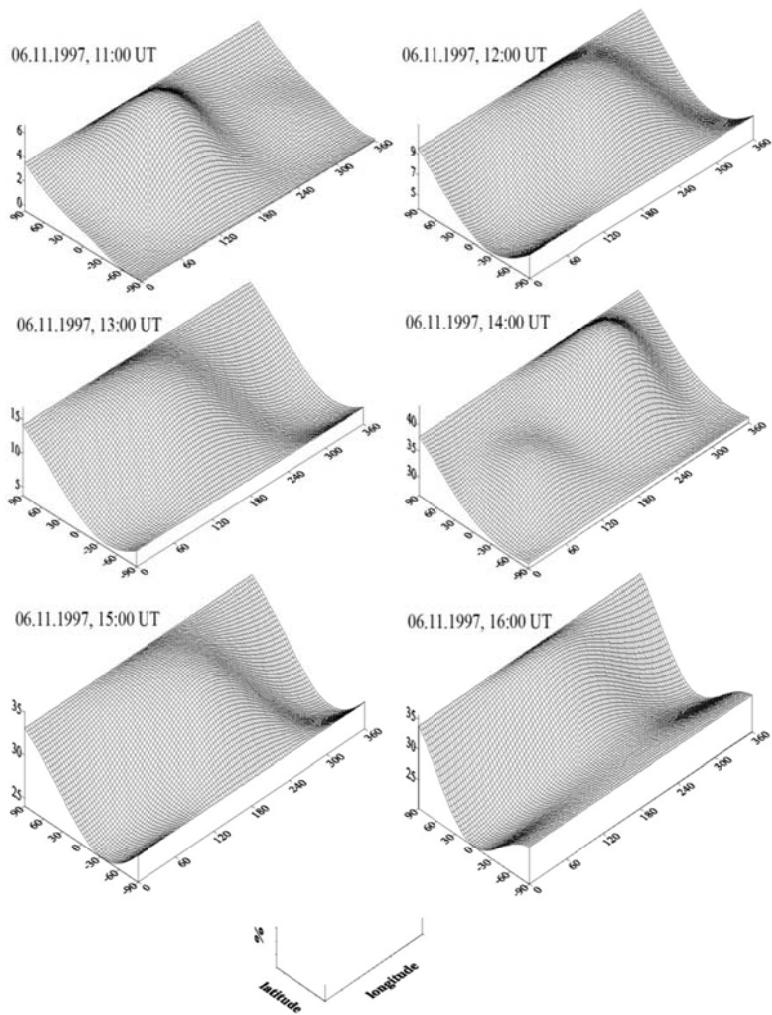


Рис. 43. Относительные изменения интенсивности КЛ с жесткостью 4 ГВ в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат для различных моментов времени GLE55

Выводы:

1. Ускорение протонов 6 ноября 1997 г. в период GLE55 наблюдалось до жесткости  $\sim 10$ – $12$  ГВ;
2. Спектры КЛ в период GLE55 в широком диапазоне не описываются ни степенной, ни экспоненциальной функцией от жесткости частиц;
3. При аппроксимации спектров КЛ в жесткостном диапазоне от 1 до 3 ГВ степенной функцией по жесткости показатель спектра  $\gamma \sim -6.0 \dots -6.4$ .

### Публикации

1. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Наземное возрастание интенсивности космических лучей 6 ноября 1997 г.: спектры и анизотропия // Письма в ЖЭТФ (сдано в печать).
2. Kravtsova M.V., Sdobnov V.E. Analysis of GLE on November 6, 1997 // Book of Abstracts Seventh Workshop «Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere», Sunny Beach, Bulgaria, 1–5 June 2015. P. 20.
3. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Наземное возрастание интенсивности космических лучей 6 ноября 1997 г. // Тезисы докладов XIV Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» БШФФ–2015, 14–18 сентября 2015 г., Иркутск. Иркутск, 2015. С. 49.

## Ускорение ионов в магнитном жгуте

Во время вспышки «День Бастилии» 14 июля 2000 г. балла X5.7/3B наблюдался кратковременный спад магнитного поля (МП), так называемый магнитный транзиент, показанный на рис. 44.

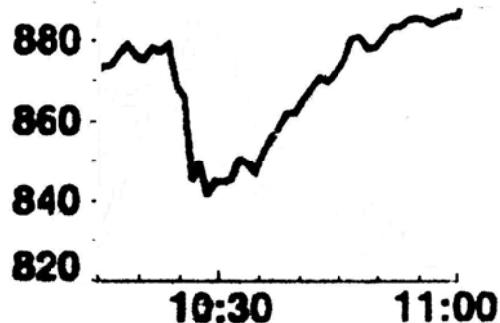


Рис. 44. Фотосферный магнитный транзиент (временные изменения среднего МП на уровне фотосферы) в униполярной области, включающей крупное пятно. По оси абсцисс — UT. По оси ординат прослеживается, с началом в 10:25 UT, падение среднего МП на величину  $\approx 40$  Гс, совпадающее по времени с импульсным гамма-всплеском

Этот спад объясняется диамагнитными токами, создаваемыми энергичными ионами, вращающимися в магнитной пробке магнитного жгута, опирающегося на сильное МП солнечного пятна, как это представлено на рис. 45. В предлагаемом сценарии, ионы с одной стороны, ускоряются существующим в магнитном жгуте электрическим полем в направлении магнитной пробки, с другой стороны, отразившись от магнитной пробки, тормозятся электрическим полем жгута и где-то останавливаются. В результате ионы захватываются в жгуте, т. е. длительное время (порядка нескольких минут) осциллируют вдоль МП жгута.

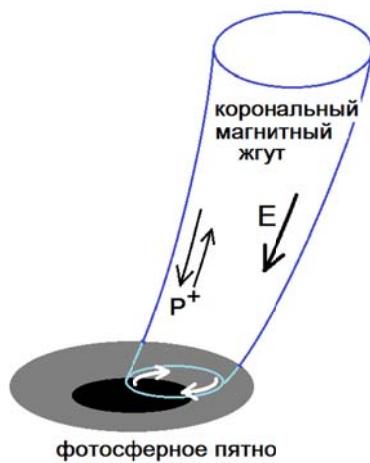


Рис. 45. Схема коронального магнитного жгута, опирающегося на сильное фотосферное МП крупного солнечного пятна. Толстой черной стрелкой показана составляющая электрического поля  $E$  в жгуте, параллельная его магнитному полю. Двумя антипараллельными черными тонкими стрелками показаны поступательные осцилляции энергичных ионов  $P^+$  в магнитном жгуте над пятном. Белыми стрелками на пятне обозначен поверхностный ток, создаваемый энергичными ионами, вращающимися в магнитной пробке жгута

### Публикация

Кичигин Г.Н., Мирошниченко Л.И., Сидоров В.И., Язев С.А. Диамагнитное уменьшение магнитного поля над солнечным пятном в гамма-вспышке 14 июля 2000 // Физика плазмы. 2015. Т. 41, № 8. С. 708–713.

## Влияние сжимаемости плазмы на неустойчивость Кельвина–Гельмгольца в сверхзвуковых сдвиговых течениях солнечного ветра и на границе геомагнитного хвоста

Исследовано влияние сжимаемости плазмы на неустойчивость Кельвина–Гельмгольца (КГ) в сверхзвуковых сдвиговых течениях СВ и на границе геомагнитного хвоста, где такая неустойчивость обычно считается неэффективной. На рис. 46 приведены результаты численных расчетов влияния сжимаемости среды на инкремент роста неустойчивости КГ, а также влияния связи с неустойчивостью Рэлея–Тейлора (РТ) на развитие КГ.

Показано, следующее:

– фазовые скорости генерируемых наклонных возмущений существенно меньше скорости течения, а инкремент неустойчивости КГ больше и диапазон частот значительно шире, чем у обычно учитываемых продольных возмущений.

– магнитное поле и неоднородности плотности плазмы, которые ослабляют неустойчивость КГ в дозвуковых сдвиговых течениях, в случае сверхзвукового перепада скорости ослабляют стабилизирующее влияние сжимаемости среды и могут значительно усилить неустойчивость. Эффективной раскачкой наклонных возмущений сверхзвуковой неустойчивостью КГ уверенно объясняются наблюдения магнитозвуковых волн и формирование размытых сдвиговых течений в СВ и пограничных слоев в дальнем геомагнитном хвосте, а также перенос энергии и импульса из СВ в магнитосферу.

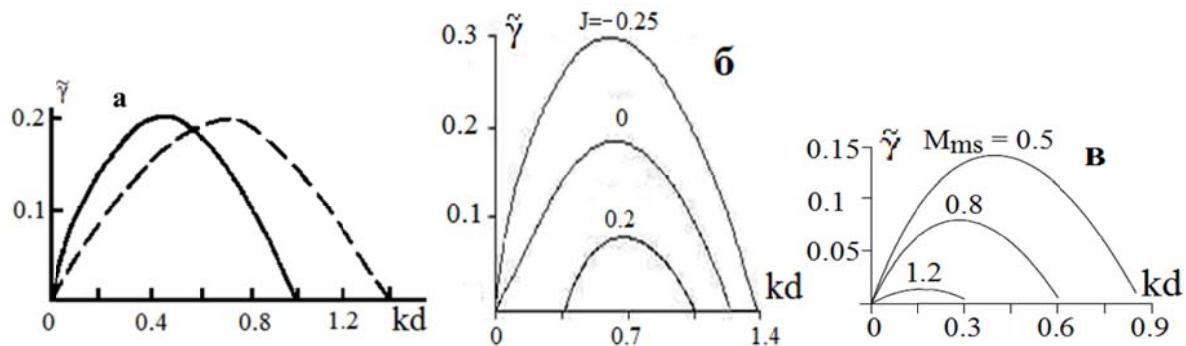


Рис. 46. Зависимость инкремента неустойчивости КГ  $\tilde{\gamma} = \gamma d/u$  от  $kd$  для продольных возмущений в случае поперечного магнитного поля  $\mathbf{k} \parallel \mathbf{V}_0 \perp \mathbf{B}_0$ . *а* — в приближении несжимаемости и однородной плотности (сплошная кривая), при сильном перепаде плотности на переходном слое (штриховая линия); *б* — влияние фактора неустойчивости РТ, характеризуемого числом Ричардсона  $J = gd/u^2$ , значение которого показано над кривыми; *в* — влияние сжимаемости на зависимость  $\tilde{\gamma} = \tilde{\gamma}(kd)$ , над кривыми показаны значения числа Маха  $M_{ms}$

### Публикация

Мишин В.В., Томозов В.М. Проявления неустойчивости Кельвина–Гельмгольца в атмосфере Солнца, солнечном ветре и магнитосфере Земли // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25. С. 10–20.

В экспериментах на плазменной установке «УН-Феникс» показано, что темпы ускорения электронов и ионов в лабораторных условиях могут превышать темпы ускорения частиц в эруптивных событиях на Солнце (рис. 47).

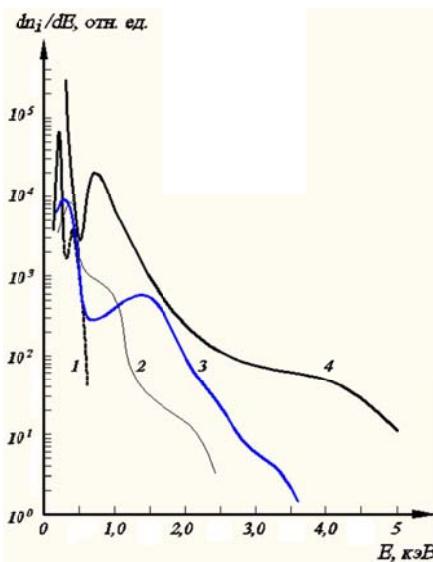


Рис. 47. Распределение ускоренных протонов по энергиям в различные моменты времени на лабораторной установке «УН-Феникс»: 1 —  $t=140$  нс; 2 —  $t=700$  нс; 3 —  $t=1000$  нс; 4 —  $t=1400$  нс; магнитное поле  $\mathbf{B}$  меняет знак в момент времени  $t=1500$  нс

### Публикация

Tomozov V.V., Strokin N.A. Comparative analysis of the efficiency of acceleration of protons and electrons in the laboratory and in solar plasma // Geomagnetism and Aeronomy. 2015. V. 55. P. 152–157.

### Наблюдение космических лучей станциями Саянского спектрографа

Данные наблюдений интенсивности космических лучей станций Саянского спектрографа представляются online на сайте 84.237.21.4 в виде графиков и текстовых файлов, хранятся на ftp-сервере и в базе данных в ИСЗФ СО РАН, обновляются в международной базе данных nmdb.eu, а также представляются в Мировой центр данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ).

Для обеспечения в режиме реального времени стабильной работы станций космических лучей произведены:

- замена неисправного оборудования,
- установка дополнительного программного обеспечения,
- подключение источников бесперебойного питания (ИБП),
- ревизия системы обогрева станций.

### Публикации

1. <http://cgm.iszf.irk.ru/irk/main.htm>.
2. <http://www.ysn.ru/ipm>.
3. <http://193.232.24.200/nvbk/main.htm>.
4. <http://cr0.izmiran.rssi.ru/common/links.htm>.
5. [http://www.wdcb.ru/stp/cat4COS\\_r.html](http://www.wdcb.ru/stp/cat4COS_r.html).

6. Луковникова А.А. Системы сбора данных и передачи информации в реальном времени станций космических лучей ИСЗФ СО РАН // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г., Иркутск. стр. 20.

7. Lukovnikova A. Present state of cosmic ray stations of the Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISTP SB RAS) // J. Phys. Conf. Ser. 2015. V. 632. 012067. doi:10.1088/1742-6596/632/1/012067.

## **4. Исследования в области физики околоземного космического пространства**

Научные исследования выполнялись в отделе физики околоземного космического пространства.

1. Приоритетное направление II.12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.

1.1. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.12.2 «Радиофизические методы исследования верхней атмосферы и ионосферы. Распространение радиоволн» (координатор — чл.-корр. РАН А.П. Потехин).

1.1.1. Проект II.12.2.1 «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Медведев.

1.1.2. Проект II.12.2.2 «Распространение радиоволн различных диапазонов в ионосфере Земли». Руководитель проекта — чл.-корр. РАН А.П. Потехин.

1.1.3. Проект II.12.2.3 «Исследование динамических процессов в магнитосфере и высоколатитной ионосфере Земли методом обратного рассеяния радиоволн коротковолнового диапазона». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

2. Приоритетное направление II.16. Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач.

2.1. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.16.1 «Фундаментальные проблемы процессов космической погоды, включая процессы на Солнце, в межпланетной среде, магнитосфере и атмосфере Земли. Контроль и экология околоземного космического пространства» (координатор — академик Г.А. Жеребцов).

2.1.1. Проект II.16.1.1 «Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат». Руководитель проекта — академик Г.А. Жеребцов.

2.1.2. Проект II.16.1.2 «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

2.1.3. Проект II.16.1.3 «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.С. Леонович.

2.1.4. Проект II.16.1.4 «Исследование и мониторинг магнитосферно-ионосферных возмущений с использованием пространственно-разнесенных геофизических комплексов». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. Р.А. Рахматулин.

Выполнялись также работы по проекту «Оперативная диагностика ионосферы с использованием действующих макетов когерентного КВ-радара и однопозиционного (моностатического) ЛЧМ-ионозонда; апробация полуэмпирической прогностической модели ионосферы» (научный руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин) Федеральной целевой программы «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008–2015 гг.».

Велись работы по гранту № 14-37-00027 «Разработка научно-технических основ мониторинга атмосферно-ионосферно-магнитосферного взаимодействия в Арктической зоне с территорией Российской Федерации» Российского научного фонда (научный руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин).

Выполнялись работы по гранту Президента поддержки ведущих научных школ «Влияние солнечной активности на динамические процессы и долговременные тренды в нейтральной атмосфере, ионосфере и магнитосфере Земли» (научный руководитель — академик Г.А. Жеребцов).

В 2015 г. в отделе выполнялось 22 гранта РФФИ:

1 экспедиционный грант, 1 грант по организации и проведению конференции и 20 инициативный грант по отделу РФФИ наук о Земле, включая 1 молодежный грант, 1 грант по соглашению РФФИ с Иркутской областью и 2 гранта по соглашению РФФИ с зарубежными научными организациями:

1. 13-05-00979-а «Развитие новых методов диагностики верхней атмосферы и ионосферы на базе комплекса уникальных инструментов ИСЗФ СО РАН»; научный руководитель — чл.-корр. РАН А.П. Потехин.

2. 13-05-00529-а «Волновое воздействие солнечного ветра на магнитосферу Земли»; научный руководитель — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

3. 13-05-00733-а «Исследование физических процессов, контролирующих состояние ионосферы и термосферы средних широт во время геомагнитных бурь»; научный руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Ташилин.

4. 13-05-00292-а «Исследование механизмов генерации межсуточных вариаций параметров»; научный руководитель — к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев.

5. 13-05-00456-а «Исследования геофизических и радиофизических эффектов работы бортового двигателя космического аппарата»; научный руководитель — к.ф.-м.н. В.В. Хахинов.

6. 13-05-00153-а «Исследование возмущений термодинамического режима мезосферы и термосферы в периоды действия зимних стратосферных потеплений»; научный руководитель — к.ф.-м.н. И.В. Медведева.

7. 14-05-00080-а «Теоретическое и численное исследование развития локализованных возмущений в устойчиво стратифицированных течениях без точек перегиба на профиле скорости»; научный руководитель — д.ф.-м.н. С.М. Чурилов.

8. 14-05-00578-а «Анализ реакции ионосферы на возмущения нейтральной атмосферы и магнитосферы на основе модели ГСМ ТИП и комплекса радиофизических инструментов ИСЗФ СО РАН»; научный руководитель — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

9. 14-05-92002-М\_2013 «Исследование динамики среднеширотной ионосферы на основе радиозатменных измерений COSMIC/FORMOSAT-3, данных радара некогерентного рассеяния, ионозондов и магнитных измерений»; научный руководитель — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

10. 14-05-00514-а «Исследование ионосферных неоднородностей средних масштабов, сопровождавших падение метеорита “Челябинск”»; научный руководитель — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

11. 14-05-91165-М «Электрические токи в магнитосфере и ионосфере и граница полярной шапки: сравнение результатов МГД-модели PPMRL и техники инверсии магнитограмм»; научный руководитель — д.ф.-м.н. В.В. Мишин.

12. 14-05-00259-а «Экспериментальное исследование возмущений в ионосфере над Азиатским регионом России»; научный руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

13. 14-05-31177-мол\_а «Исследования электронной концентрации выше максимума ионизации на основе анализа длинных рядов данных, полученных на Иркутском радаре некогерентного рассеяния»; научный руководитель — С.С. Алсаткин.

14. 14-05-00588-а «Исследование взаимодействия между магнитосферой, ионосферой и атмосферой с помощью СуперДАРН»; научный руководитель — к.ф.-м.н. П.Н. Магер.

15. 14-45-04088-р\_сибирь\_а «Исследование пространственно-временной структуры неоднородностей электромагнитного поля Байкальской рифтовой зоны»; научный руководитель — д.ф.-м.н. Р.А. Рахматулин.

16. 15-05-05387-а «Развитие методов обработки данных Иркутского радара некогерентного рассеяния для исследования среднеширотной внешней ионосферы»; научный руководитель — академик Г.А. Жеребцов.

17. 15-05-02313-а «Экспериментальное исследование условий распространения внутренних гравитационных волн в верхней атмосфере Земли по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния»; научный руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Медведев.

18. 15-05-05561-а «Модель магнитосферных суббури с новыми данными техники инверсии магнитограмм»; научный руководитель — д.ф.-м.н. В.В. Мишин.

19. 15-05-05227-а «Исследование механизмов генерации волновых возмущений в средней атмосфере и эффектов этих волн в ионосфере»; научный руководитель — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская.

20. 15-05-03946-а «Исследование статистических и динамических характеристик мелкомасштабных неоднородностей ионосферы по данным экспериментального комплекса ИСЗФ СО РАН»; научный руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.

21. 15-05-10110-а «Научный проект по проведению комплексной экспедиции по исследованию ионосферных возмущений в азиатском регионе России»; научный руководитель — к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев.

22. 15-05-20697-а «Проект организации Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде» (БШФФ-2015)»; научный руководитель — академик Г.А. Жеребцов.

Выполнялись также:

- Работы по укрупненному инвестиционному проекту «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН»; научный руководитель — академик Г.А. Жеребцов.
- Прикладные работы в рамках ФЦП и хозяйственных договоров.

#### **4.1. Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства**

##### **Разработка системы синхронизации Иркутского радара НР (ИРНР) и РЛС «Воронеж»**

Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР), созданный на базе радиолокационной станции (РЛС) 5Н86 «Днепр», работает совместно со станциями данного типа, в одинаковом диапазоне рабочих частот (154–162 МГц). Синхронизация в таком режиме обеспечивается единым управляющим комплексом, который позволяет излучать и принимать сигналы в жестких временных рамках, не позволяя станциям создавать помехи друг другу.

Однако месте дислокации «Усолье-Сибирское-7» начиная с 2010 г., строится РЛС нового поколения — радиолокационный комплекс (РЛК) 77Я6-ВП «Воронеж», работающий в том же частотном диапазоне. Со временем Министерство обороны РФ планирует вывод из эксплуатации РЛС типа «Днепр» и постановку на боевое дежурство новой станции «Воронеж». РЛК и ИРНР имеют принципиально разную временную схему работы систем приема и передачи сигналов. Системы ИРНР выполняют периодическое излучение зондирующих сигналов фиксированной длительности (2 мс) с тактовой частотой 24.4 Гц. Остальное время такта ИРНР занято приемным стробом. В РЛК «Воронеж» реализована непериодическая схема расстановки приемных и передающих стробов, что означает возможность появления строба в любом месте такта, а также с переходом из такта в такт. К тому же длительность такта отлична от длительности такта ИРНР и составляет 19 Гц. Таким образом, совместное включение этих станций создает помехи друг другу и делает невозможным дальнейшее функционирование как для ИРНР, так и для РЛК.

С 2013 г. ИСЗФ СО РАН совместно с ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца» (ОАО РТИ), производителем станций типа «Воронеж», стал разрабатывать систему синхронизации (СС) РЛК с ИРНР. Совместная беспомеховая работа этих разных РЛС должна выполняться при соблюдении следующих условий:

- нельзя излучать в то время, когда другая РЛС ведет прием сигнала,
- нельзя принимать сигнал, когда другая РЛС излучает сигнал.

Главное требование, накладываемое на СС, – функциональные характеристики РЛК «Воронеж» при взаимной синхронизации с ИРНР не должны быть снижены.

Для решения задачи синхронизации работы РЛК «Воронеж» и ИРНР с выполнением перечисленных условий и требований была создана методика подключения ИРНР в качестве дополнительной (ведомой) позиции для РЛК «Воронеж». Планирование временного ресурса производится штатной системой управления РЛК «Воронеж» в своих интересах. Дополнительная позиция (ИРНР), получая временную диаграмму работы от ведущей РЛК, планирует свою работу, исходя из текущего расположения во времени стробов приема и передачи (излучения). Блок-схема созданной системы синхронизации приведена на рис. 48.

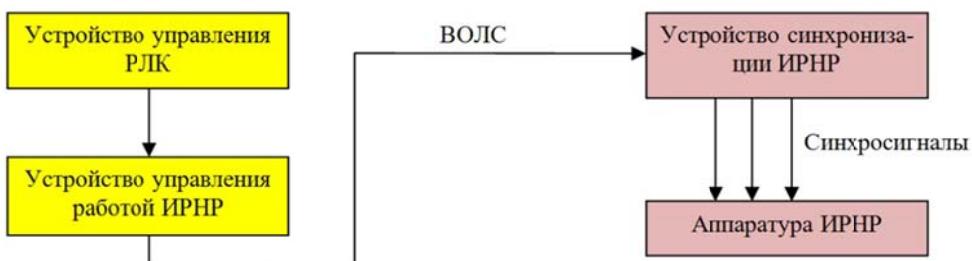


Рис. 48. Блок–схема системы синхронизации РЛК–ИРНР

Такая схема позволяет:

- не снижать функциональных возможностей РЛК за счет того, что планирование временного ресурса производится только в интересах РЛК,
- обеспечить синхронность работы дополнительной позиции (ИРНР) с РЛК.

С точки зрения работы ИРНР новая СС формирует дополнительные управляющие сигналы, которые затем используются модернизированной аппаратурой ИРНР для формирования всех внутренних синхросигналов (запуск передатчиков, приемников, бланки защиты и т. д.). Другими словами, ИРНР подстраивается под работу РЛК и излучает зондирующие импульсы в моменты излучения РЛК. Прием отраженного сигнала ИРНР также проводит синхронно с РЛК. Принцип работы СС показан на рис. 49, где в теле импульса излучения РЛК находится зондирующий импульс ИРНР.

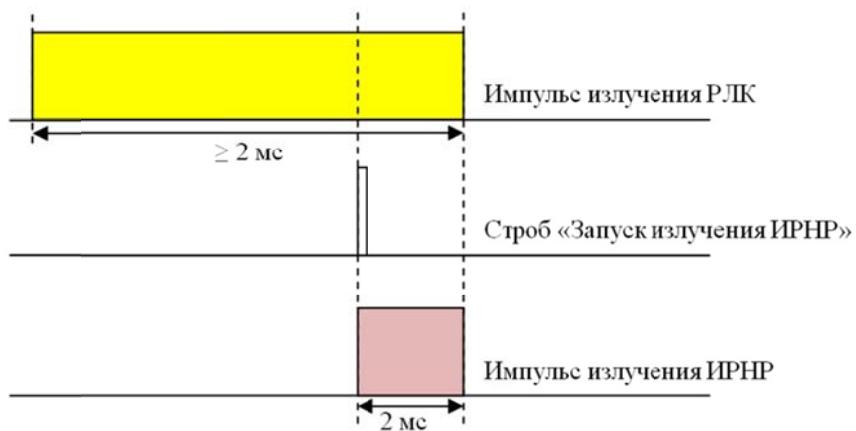


Рис. 49. Пример формирования импульсов излучения ИРНР с помощью новой системы синхронизации

Создан действующий макет СС. В 2015 г. проведены серии совместных экспериментов на РЛК и ИРНР по накоплению статистики работы СС и оценке влияния работы ИРНР на РЛК. Установлено, что при работе от СС средняя тактовая частота ИРНР варьировала в зависимости от режимов работы РЛК и составила около 20 Гц.

## Разработка методов получения профилей электронной концентрации на ИРНР

Впервые на основе данных ИРНР осуществлено морфологическое исследование вариаций электронной концентрации на высотах внешней ионосферы Восточно-Сибирского региона. Для анализа использовались среднемесячные суточные вариации электронной концентрации, четырех сезонов и двух уровней солнечной активности (низкая и умеренная).

Исследование показало следующие, особенности поведения электронной концентрации ( $N_e$ ):

- зимой при низкой солнечной активности на высотах 280–350 км наблюдаются два сопоставимых локальных максимума  $N_e$ : ночной и дневной;
- летом наблюдается вечерний максимум как при низкой, так и при умеренной солнечной активности, причем появляется он на высоких уровнях, затем спускается на нижние;
- осенью и весной при низкой солнечной активности видна многопиковая структура поведения  $N_e$ .

На рис. 50 представлены графики суточного поведения электронной концентрации на трех высотах, показывающие основные особенности поведения  $N_e$ .

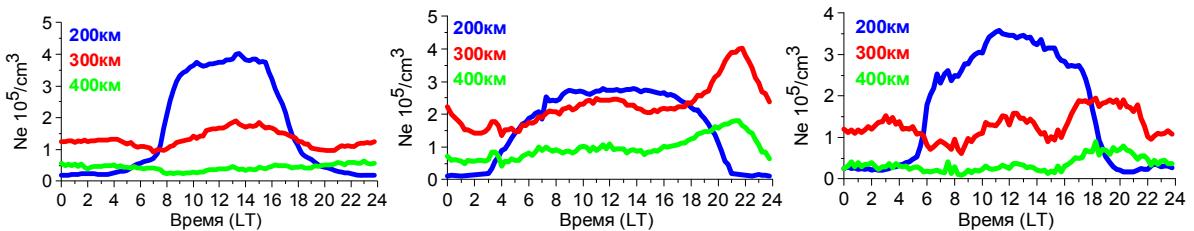


Рис. 50. Суточное поведение электронной концентрации на высотах 200, 300, 400 км: левая панель — зимний сезон, низкая солнечная активность; средняя панель — летний сезон; правая панель — осенний сезон, низкая солнечная активность

Наряду с морфологическим исследованием вариаций электронной концентрации, проводились также:

- Сравнение значений электронного содержания, полученных по данным ИРНР и ионозонда DPS-4, для двух диапазонов высот (в столбе высот 180–250 км (ECbot) и 250–600 км (ECtop)) для четырех сезонов и двух уровней солнечной активности. Производились взаимная калибровка инструментов для случая ECbot и тестирование методики экстраполяции Reinisch and Huang (2001) для случая ECtop.
- Спектральный анализ высотных профилей относительных амплитуд: суточной, полусуточной и третьюсуточной гармоник и высотного профиля фазы суточной гармоники для различных сезонов и уровней солнечной активности.

Сравнение значений электронного содержания, полученных по данным ИРНР и ионозонда DPS-4, выявило расхождение дневных значений в диапазоне высот 250–600 км, причем наибольшее расхождение наблюдается при низкой солнечной активности. На рис. 51 приведены графики суточного хода электронного содержания в зимний период при умеренной солнечной активности.

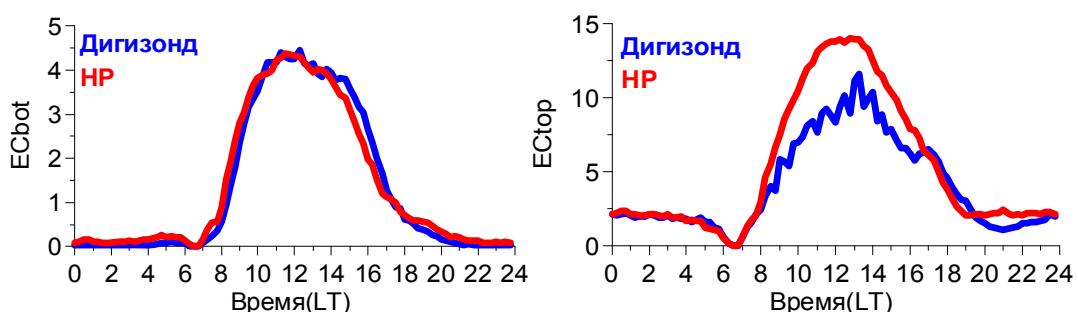


Рис. 51. Суточный ход электронного содержания в зимний период при умеренной солнечной активности: левая панель диапазон высот 180–250 км; правая панель — 250–600 км

Видно, что суточные вариации значений электронного содержания в диапазоне высот 180–250 км, полученные по данным двух установок, почти совпадают, тогда как для высот 250–600 км наблюдается расхождения в дневное время (10:0–16:0 LT).

Можно сделать следующие выводы:

- На высотах до 250 км преобладает суточная гармоника.
- Выше 250 км зимой и летом при низкой и умеренной солнечной активности, становятся сопоставимыми полусуточная и суточная гармоники. Осенью и весной при низкой солнечной активности третьсуточная и суточная гармоники становятся сопоставимыми.
- Выше 250–300 км при низкой солнечной активности во все сезоны, а при умеренной солнечной активности только зимой и летом происходит значительное изменение фазы суточной гармоники.

На рис. 52 представлены результаты спектрального анализа для зимнего сезона при низкой солнечной активности.

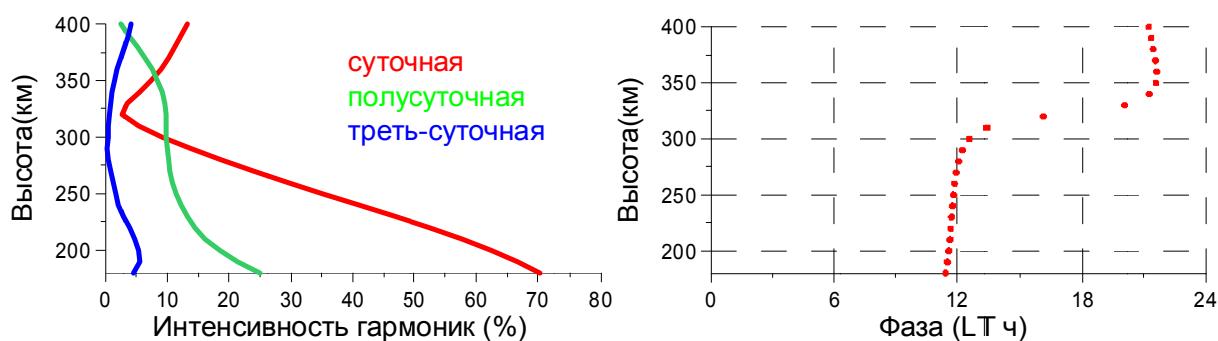


Рис. 52. Результаты спектрального анализа для зимнего сезона при низкой солнечной активности: левая панель — высотное поведение амплитуд суточной, полусуточной и третьсуточной гармоник; правая панель — поведение фазы суточной гармоники

### Публикация

Алсаткин С.С., Медведев А.В., Ратовский К.Г. Особенности поведения ионосферы вблизи максимума ионизации по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния для низкой и умеренной солнечной активности // Солнечно-земная физика, 2015. Т. 1, № 3. DOI: 10.12737/11450.

### Разработка методов определения динамических характеристик ионосферной плазмы

Разработана методика расчета меридиональных нейтральных ветров по данным Иркутского радара НР с учетом его индивидуальных конструктивных особенностей. С помощью автокорреляционной методики анализа фазы АКФ сигнала НР получена скорость дрейфа плазмы вдоль двух лучей зрения радара. На основе длинных рядов таких данных с помощью разработанной методики рассчитана скорость нейтрального меридионального ветра с учетом перпендикулярных магнитному полю движений плазмы как в зональном, так и в меридиональном направлениях. Показано, что возможный недоучет влияния таких движений плазмы, вызываемых воздействием электрических полей, потенциально может приводить к серьезным ошибкам в определяемой скорости нейтральных ветров. Сравнение полученных при помощи новой методики суточных вариаций нейтральных меридиональных ветров над Иркутском показало хорошее согласие с широко используемой полуэмпирической моделью ветров HWM (рис. 53).

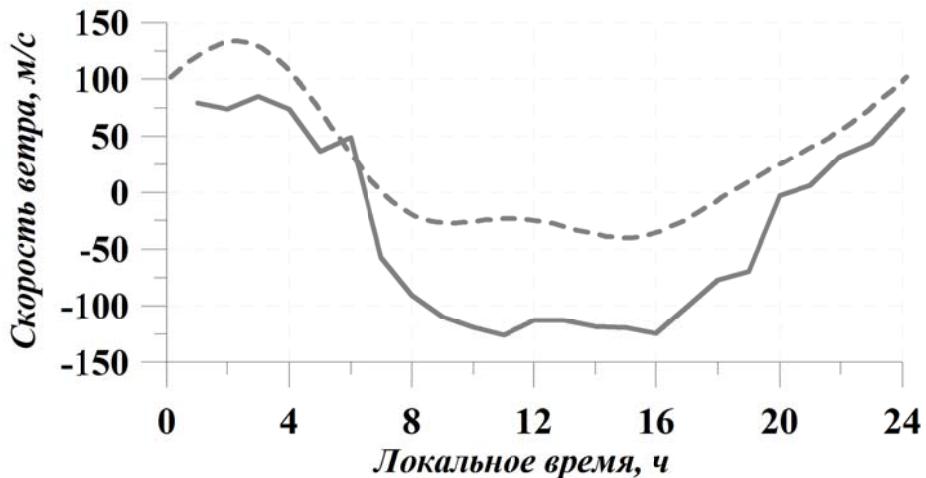


Рис. 53. Сравнение полученного по однолучевой методике меридионального ветра (сплошная кривая) с моделью HWM93 (штриховая кривая)

Изначально расчеты проводились, исходя из предположения об отсутствии влияния электрических полей на скорость дрейфа плазмы, для среднеширотной ионосферы в геомагнитно-спокойных условиях. Таким образом, чтобы оценить скорость  $V_n$  нейтрального меридионального ветра, необходимо исключить вклад скорости амбиполярной диффузии из полученной скорости дрейфа  $V_{\text{los}} = V_i \cos \alpha$  плазмы вдоль луча радара. Исходя из геометрии эксперимента, для расчета используем следующее выражение:

$$V_n = \left( \frac{V_{\text{los}}}{\cos \alpha} - V_d \right) / \cos I.$$

Однако существенное превышение по модулю полученных скоростей ветра относительно модельных скоростей заставило нас сделать предположение о существенном влиянии электрических полей на скорость дрейфа плазмы. Кроме того, сравнение скоростей дрейфа плазмы по двум лучам радара показало, что объяснить расхождение в скоростях одними лишь разными проекциями параллельных полю движений не получится. Поэтому мы предположили, что, помимо движений вдоль магнитного поля, существует и перпендикулярная к магнитному полю составляющая движения. Скорость дрейфа плазмы в этом случае можно представить в виде двух компонент — параллельной и перпендикулярной полю, в первую вносят свой вклад нейтральный ветер и диффузия, во вторую — электрические поля. При этом перпендикулярные полю движения можно разделить на движения в зональном и меридиональном направлениях:

$$\begin{aligned} V_{\parallel} &= U_{\text{wind}} \cos I + U_{\text{dif}}, \\ V_p &= U_{E \times B}, \\ V_{pe} &= U'_{E \times B}. \end{aligned}$$

Соответственно выражения для лучевых скоростей запишутся как:

$$\begin{aligned} V_{159} &= V_{\parallel} \cos \alpha_{159} + V_p \cos \beta_{159} + V_{pe} \cos \gamma_{159}, \\ V_{155} &= V_{\parallel} \cos \alpha_{155} + V_p \cos \beta_{155} + V_{pe} \cos \gamma_{155}. \end{aligned}$$

Решить подобную систему уравнений можно, вводя дополнительное условие. В качестве такого регуляризующего условия использовался критерий минимума модуля скорости плазмы:  $V^2 = V_{\parallel}^2 + V_p^2 + V_{pe}^2 \rightarrow \min$ .

Учет перпендикулярных полю движений только в меридиональном (верхняя панель рис. 54), а также в меридиональном и зональном направлениях (нижняя панель рис. 54) позволил получить скорость нейтрального меридионального ветра, гораздо лучше соответствующую модельной.

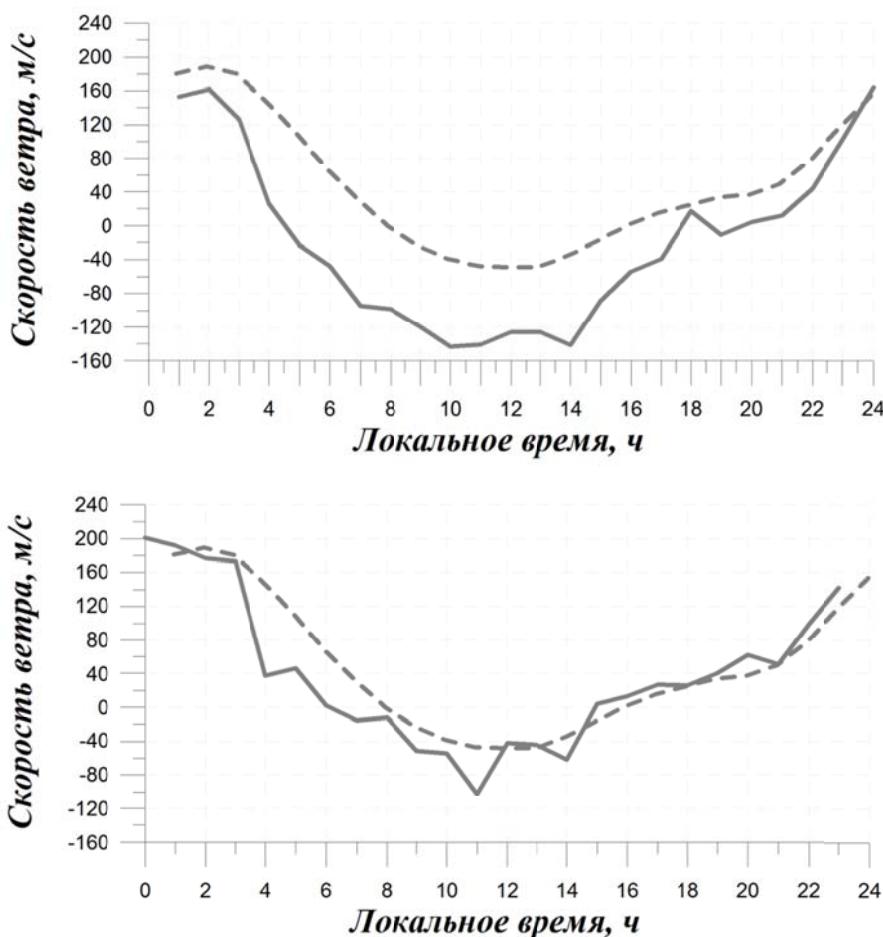


Рис. 54. Скорость нейтрального меридионального ветра

### Публикации

1. Щербаков А.А., Медведев А.В., Кушнарев Д.С., Толстиков М.В., Алсаткин С.С. Расчет нейтральных меридиональных ветров в средних широтах с помощью Иркутского радара НР // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. DOI: 10.12737/10962.
2. Shcherbakov A.A., Medvedev A.V., Kushnarev D.S., Tolstikov M.V., Alsatkin S.S., Calculation of meridional neutral winds in the middle latitudes from the Irkutsk Incoherent Scatter Radar // J. Geophys. Res. Space Phys. 2015. V. 120. DOI: 10.1002/2015JA021678.

### Разработка методов исследования процессов волновой активности в ионосфере

На основе разработанных ранее методов определения трехмерной пространственно-временной структуры перемещающихся ионосферных возмущений и автоматического метода выделения волновых возмущений получена представительная статистика характеристик перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) с периодами 1–6 ч. Впервые на основе статистических данных о параметрах ПИВ получен среднемесячный суточный ход меридионального и зонального ветра. Этот результат особенно важен, поскольку в настоящее время существует очень мало способов определения зонального ветра в верхней атмосфере. Параметры нейтрального ветра удовлетворительно согласуются как с данными модели HWM2007, так и с независимыми измерениями меридионального ветра ИРНР.

Поскольку большинство наблюдаемых ПИВ укладывается в существующие представления о распространении ВГВ в среде с ветром, можно поставить задачу определения ветра вдоль направления распространения ПИВ. Через внутренний период ПИВ горизонтальная скорость ветра вдоль направления распространения ПИВ определяется выражением

$$U = \frac{\lambda_n(T' - T)}{TT'}, \quad (1)$$

где  $T'$  и  $T$  — внутренний и наблюдаемый периоды волны соответственно.

Внутренний период ПИВ, при использовании дисперсионного уравнения Хайнса, можно найти, решив биквадратное уравнение

$$\frac{\cos^2(\theta)}{T_b^2} T'^4 - \left(1 + \frac{\lambda^2}{C_0^2 T_A^2}\right) T'^2 + \frac{\lambda^2}{C_0^2} = 0. \quad (2)$$

Состояние фоновой среды задавалось значениями  $T_b = 11.5$  мин,  $C_0 = 886$  м/с и  $T_A = 11.3$  мин. Зная параметры распространения ПИВ и скорость ветра вдоль направления распространения ПИВ и воспользовавшись модельными значениями параметров среды, можно ставить задачу определения зонального и меридионального ветра. Скорости среднемесячного зонального и меридионального ветра в момент времени  $t$  определяются как минимум функционала:

$$\sum (U_x \sin(\phi_i) + U_y \cos(\phi_i) - U_i)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Здесь суммирование производится по всем ПИВ наблюдавшимся во временном окне  $[t-2, t+2]$ , при скорости ветра вдоль направления распространения ПИВ меньшей 300 м/с ( $|U_i| \leq 300$  м/с),  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_i$  — скорости зонального и меридионального ветра и горизонтального ветра вдоль направления распространения ПИВ,  $\phi_i$  — азимут ПИВ (отсчитывается от направления на север по часовой стрелке). Граница в 300 м/с достаточно условна, хотя и основана на спутниковых измерениях, и, возможно, приводит к занижению скорости нейтрального ветра, но на данном этапе мы не видим лучшего решения. Нахождение минимума функционала сводится к решению системы линейных уравнений.

На рис. 55 приведены результаты расчетов в сравнении со скоростью меридионального нейтрального ветра, измеренной радаром НР и полученной по модели HWM2007. Черная линия — модель HWM2007, черная пунктирная линия — измерения радара НР, серая линия расчеты, положительная меридиональная скорость ветра направлена на юг, положительная зональная скорость ветра направлена на восток.

Как можно видеть из рис. 55, рассчитанная меридиональная скорость нейтрального ветра достаточно хорошо совпадают с моделью и измерениями ИРНР, расчетные значения зональной скорости нейтрального ветра также в целом соответствуют суточному ходу модельных значений.

Наименьшие различия между моделью, расчетами и измерениями ИРНР наблюдаются в зимний период, соответствующий наилучшей статистике (5677 ПИВ). Расхождения модели и расчетов с автокорреляционными измерениями в ночные часы, возможно, связаны с неучетом поперечных полю движений в направлении запад–восток. Расчитанные скорости нейтрального ветра для весеннего и летнего периода в целом соответствуют суточному ходу модельных значений. Различия могут быть вызваны как недостатками методики расчетов, так и недостатками модели.

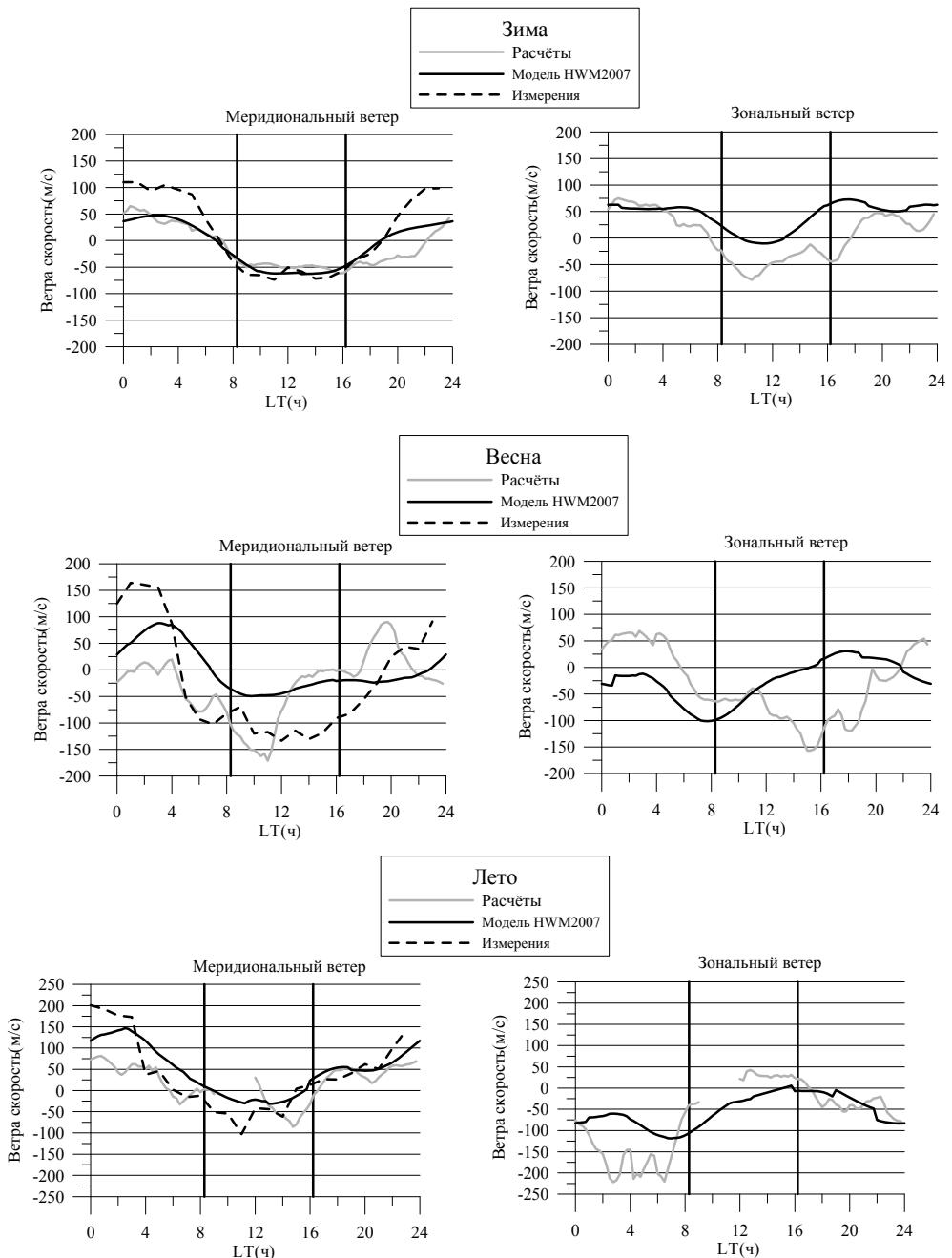


Рис. 55. Среднемесячный суточный ход скорости зонального и меридионального ветра

### Публикация

Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Alsatkin S.S., Scherbakov A.A. A statistical study of internal gravity wave characteristics using the combined Irkutsk Incoherent Scatter Radar and Digisonde data // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2015. V. 132. P. 13–21. DOI: 10.1016/j.jastp.2015.06.012

### Разработка структуры системы управления и регистрации сигналов для фазированной антенной решетки перспективного радара МСТ-НР

В рамках национального гелиогеофизического проекта планируется строительство радара НР-МСТ для исследования средней и верхней атмосферы. Мезосферно-стратосферно-тропосферные (МСТ) радары позволяют определять скорость нейтрального ветра и интенсивность когерентных эхо-сигналов, изучать морфологию атмосферных неоднородностей (турбулентностей, стратифицированных атмосферных слоев), проводить

наблюдения за метеоритами. Радары некогерентного рассеяния (НР) позволяют исследовать ионосферу, определяя параметры ионосферной плазмы — электронную концентрацию, температуру ионов и электронов, скорость дрейфа плазмы и др. Радар, сочетающий в себе возможности проведения МСТ- и НР-наблюдений, позволит исследовать взаимодействие между средней и верхней атмосферой. В настоящее время в мире немногие радары способны проводить измерения в этих двух режимах одновременно. Это обусловлено разными требованиями к рабочей частоте и мощности НР- и МСТ-радаров. Так, рабочие частоты МСТ радаров лежат в области 50 МГц, а частоты НР-радаров находятся в дециметровом и метровом диапазонах (EISCAT VHF — 224 МГц, AMISR — 449 МГц, Sondrestrom — 1290 МГц). Рабочая частота радара НР-МСТ — 158 МГц. Для того чтобы определить возможности радара НР-МСТ, необходимо оценить уровень сигналов обратного рассеяния с высот средней и верхней атмосферы для данной частоты.

Радар НР-МСТ представляет собой две фазированные решетки, отстоящие друг от друга на расстояние 100 м и наклоненные на 20°. Каждая решетка радара обладает апертурой  $40 \times 40 = 1600 \text{ м}^2$  и включает 1536 антенн — крест-вибраторов, позволяющих одновременно принимать сигналы двух поляризаций. При этом излучаемый сигнал будет обладать только линейной поляризацией, что необходимо для проведения измерений электронной концентрации по методу фарадеевских вращений. Ширина луча главного лепестка радара составляет  $2.5 \times 2.5^\circ$ , а сектор обзора равен  $\pm 45^\circ$ , что позволяет получать углы места от 25 до 165° в направлении север–юг. Мощность передаваемого импульса составляет 2 МВт при излучении двумя решетками. Приемо-передающая система позволяет в широких пределах варьировать межимпульсные интервалы (50–1333 Гц), а минимальное разрешение по дальности составляет 240 м. Приемная система полностью цифровая, поэтому радар обладает большим динамическим диапазоном, который позволяет принимать как слабые сигналы некогерентного рассеяния, так и мощные когерентные сигналы от неоднородностей в нейтральной и ионизированной атмосфере. Уровень сигнала обратного рассеяния зависит от характеристик радара, параметров среды и времени накопления сигнала.

Для НР-наблюдений определялась минимальная электронная концентрация, которую позволяет измерить радар, в зависимости от времени накопления (рис. 56) для высот 400 и 1000 км, что соответствует режимам работы НР-1 и НР-2. В режиме НР-1 длительность излучаемого импульса равна 200 мкс, в режиме НР-2 — 6500 мкс. Видно, что при достаточном времени накопления возможно определение значения электронной концентрации на высотах 1000 км.

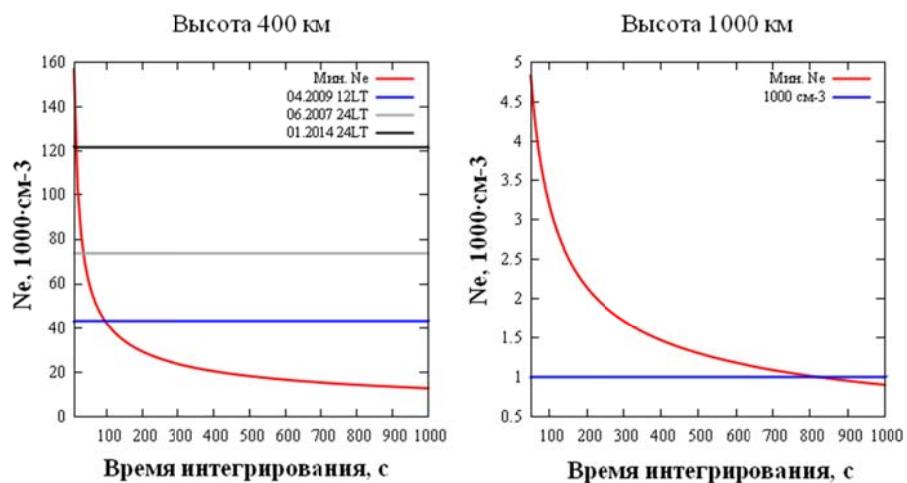


Рис. 56. Минимальная детектируемая электронная концентрация для высот 400 и 1000 км в зависимости от времени накопления, что соответствует режимам работы НР-1 и НР-2. Горизонтальными линиями на левой панели отмечены концентрации, которые наблюдались на радаре ИРНР. Синяя линия на правой панели показывает типичное значение электронной концентрации  $N_e=10^9 \text{ м}^{-3}$  на этих высотах

Основной источник сигнала обратного рассеяния в МСТ-режиме — турбулентности. Мощность полученного сигнала зависит от рабочей частоты радара, так как рассеяние происходит на флуктуациях показателя преломления среды с размерами, соответствующими половине длины волны радара. Поэтому на высотах мезосфера, где высока кинематическая вязкость среды и энергия турбулентностей с малыми размерами переходит в тепло, необходимо, чтобы зондирующая частота была как можно меньше, вплоть до нижней границы спектра турбулентных флуктуаций — границы плавучести ( $\sim 200$  м на высотах мезосфера). Граница затухания турбулентностей определяет рабочий диапазон высот для МСТ-радара. На рис. 57 показан высотный профиль минимальной интенсивности турбулентности (скорость диссипации), которая необходима для детектирования рассеянного сигнала, для разных чисел Шмидта ( $Sc$ ), отображающих соотношение вязкости и диффузии вещества (в мезосфере число Шмидта может превышать 1 из-за наличия ионизированных частиц льда). Рисунок построен в соответствии с параметрами стандартной атмосферы, моделью IRI для ионосферы и характеристиками радара НР-МСТ для рабочих частот 224 МГц, 158 МГц и 50 МГц. Видно, что с ростом частоты турбулентность должна быть все более интенсивной, для того чтобы рассеянный сигнал превысил заданный порог. Реальная скорость диссипации турбулентной энергии в мезосфере достигает нескольких десятых Вт/кг, поэтому можно ожидать, что радар НР-МСТ позволит детектировать рассеянные сигналы с высот 70–90 км (черная линия на рис. 57). Также показано, что радар позволяет определять параметры в стратосфере на высотах до 25–30 км, где частота зондирования мало влияет на результаты наблюдений.

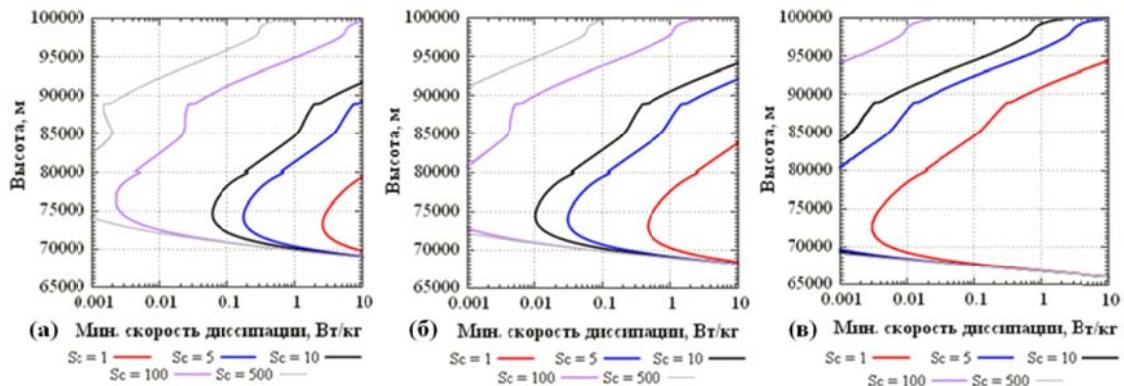


Рис. 57. Высотный профиль минимальной детектируемой скорости диссипации турбулентностей для радаров с частотой: *а* — 224 МГц; *б* — 158 МГц; *в* — 50 МГц. Цветными линиями обозначены значения числа Шмидта ( $Sc$ ) атмосферы

Радар НР-МСТ позволит проводить наблюдения параметров средней атмосферы на высотах от 10 до 20–30 км и от 70 до 90 км. Несмотря на то, что по диагностическим возможностям радар НР-МСТ уступает МСТ-радарам, работающим на частотах 50 МГц, выбор рабочей частоты 158 МГц позволит эффективнее измерять параметры мезосфера по сравнению с традиционными метровыми и дециметровыми НР-радарами. Кроме того, радар позволит измерять параметры ионосферы на высотах 1000 км с высоким спектральным и времененным разрешением при достаточном накоплении сигнала. Приемная система радара дает возможность проведения интерферометрических наблюдений для изучения тонкой структуры атмосферных неоднородностей. По характеристикам и возможностям радар НР-МСТ сравним с современными атмосферными радарами, работающими в режимах НР или МСТ, а выбор рабочей частоты 158 МГц позволит одновременно изучать среднюю и верхнюю атмосферу, а также исследовать взаимодействие между ними.

### Публикация

Сетов А.Г., Медведев А.В., Кушнарев Д.С., Васильев Р.В., Лебедев В.П. Исследование возможностей антенной системы нового радара НР-МСТ при различных режимах работы // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XIV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 2015. С. 188–190.

## 4.2. Распространение радиоволн различных диапазонов в ионосфере Земли

### Анализ результатов активных космических экспериментов «Плазма–Прогресс» и «Радар–Прогресс», полученных радиофизическим комплексом ИСЗФ СО РАН

Комплексные исследования активного воздействия выхлопных струй на ионосферу практически невозможно организовать в земных условиях, например в металлических вакуумных камерах, из–за влияния проводящих стенок камеры, на которые замыкаются электрические токи в плазме, из–за сравнительно высокого остаточного давления в камере и, главным образом, из–за отсутствия влияния магнитного поля Земли (МПЗ) на исследуемые процессы, которое в естественных условиях играет ключевую роль. При проведении активных космических экспериментов (АКЭ) «Плазма–Прогресс» и «Радар–Прогресс» в орбитальных условиях оказывалось локальное воздействие на ионосферу, в результате которого возникали среднемасштабные неоднородности с уровнем вариаций параметров от 20 до 40 % от фонового значения. Этот уровень еще не вызывает изменения характера реакции ионосферы на оказываемое активное воздействие и вместе с тем позволяет отделить искусственно вызванные эффекты от естественных, когда существенными могут оказаться даже те процессы, которые вызывают изменения порядка единиц процентов и меньше.

Целесообразность проведения АКЭ с использованием бортовых жидкостных реактивных двигателей (ЖРД) космических транспортных грузовых кораблей (ТГК) серии «Прогресс» объясняется тем, что можно варьировать направление струй ЖРД относительно силовых линий МПЗ и вектора скорости ТГК, выбирать время включения и выключения, длительность работы ЖРД, условия освещенности ТГК Солнцем.

АКЭ проводились на этапе автономного полета ТГК после его отделения от МКС. АКЭ проводились сессиями по 5–6 сеансов по одному, редко два, сеанса в сутки. Количество сеансов в сессии зависело от запасов топлива ТГК, позволяющего провести дополнительные включения ЖРД и затопить ТГК в Тихом океане. Включение/выключение бортовых ЖРД и УКВ-передатчика происходит автоматически по заданной программе. Сеансы АКЭ проводятся при определенном сочетании внешних орбитальных условий, таких как географические координаты ТГК, ориентация ТГК на орбите, положение Солнца, направление радиолуча Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР). Каждый сеанс формируется из сочетания вариантов, приведенных в табл. 3.

Таблица 3. Варианты проведения сеансов АКЭ

Тип двигателя	8 двигателей причаливания и ориентации одновременно
	сближающе–корректирующий двигатель (СКД)
Направление скорости выхлопной струи	вдоль вектора скорости ТГК («на торможение»)
	вдоль радиолуча ИРНР («на РНР»)
	против вектора скорости ТГК («на разгон»)
	на наземный УКВ интерферометр («на ГФО»)

Так как угол раскрытия диаграммы направленности (ДН) ИРНР небольшой ( $1^\circ$ ), то ТГК за 10–20 с пролетает зону обзора ИРНР. Длительность сеанса АКЭ с учетом подготовительных операций составляет 15 мин. Длительность непосредственно измерений составляет 30–120 с, в течение которых регистрируется отраженное от объекта излучение.

Полное наименование АКЭ «Плазма–Прогресс» «Исследование наземными средствами наблюдения отражательных характеристик плазменного окружения транспортно–грузового корабля «Прогресс» в радио и оптическом диапазонах при работе бортовых двигателей». Общее количество сеансов АКЭ «Плазма–Прогресс» с 2006 по 2010 г. 31

(табл. 4). Цель АКЭ — анализ влияния выхлопных струй ЖРД на радиолокационные характеристики ТГК в диапазоне частот ИРНР путем сопоставления отражательных характеристик при работающих и неработающих ЖРД.

Таблица 4. Сеансы АКЭ «Радар–Прогресс» и «Радар–Прогресс»

Дата Название ТГК	Кол-во сеансов	Направление работы ДУ					
		на торможение	на РНР	на разгон	на север	на ГФО	на 45°
19–24 сентября 2007 г. Прогресс-60	6	2	3	1	0	0	0
10–14 февраля 2008 г. Прогресс-62	5	1	4	0	0	0	0
1–7 сентября 2008 г. Прогресс-64	6	1	2	1	2	0	0
6 февраля 2009 г. Прогресс М-01М	1	1	0	0	0	0	0
6, 14–18 мая 2009 г. Прогресс-66	6	1	1	1	1	0	2
21–26 сентября 2009 г. Прогресс-67	6	0	3	0	3	0	0
22–26 апреля 2010 г. Прогресс М-03М	5	2	3	0	0	0	0
31 августа – 6 сентября 2010 г. Прогресс М-06М	7	2	0	0	5	0	0
22–25 апреля 2011 г. Прогресс М-09М	5	5	0	0	0	0	0
23–31 августа 2011 г. Прогресс М-11М	6	2	2	0	0	2	0
23–28 апреля 2012 г. Прогресс М-14М	6	0	4	0	0	2	0
15–16 августа 2012 г. Прогресс М-15М	2	2	0	0	0	0	0
16–21 апреля 2013 г. Прогресс М-17М	5	0	3	0	0	2	0
13–18 июня 2013 г. Прогресс М-19М	6	0	4	0	0	2	0
13–18 апреля 2014 г. Прогресс М-22М	6	0	4	0	0	2	0
26–31 июля 2014 г. Прогресс М-23М	6	0	4	0	0	2	0
Итого:	84	19	37	3	11	12	2

Полное наименование АКЭ «Радар–Прогресс» «Исследование наземными средствами наблюдения отражательных характеристик плазменных неоднородностей, генерируемых в ионосфере при работе бортовых двигателей ТГК «Прогресс»». АКЭ «Радар–Прогресс» является естественным продолжением «Плазма–Прогресс», первые получен-

ные результаты которого показали, что в процессе распространения реактивная выхлопная струя ЖРД вступает во взаимодействие с окружающей объект плазмой и ионосферой, изменяя состав ее нейтрального и ионизованного компонентов. По сравнению с АКЭ «Плазма–Прогресс» были скорректированы научные задачи и объекты исследования. Общее количество сеансов с 2010 по 2014 г. — 53. Цель АКЭ — определение пространственно–временных зависимостей плотности, температуры, ионного состава локальных неоднородностей ионосферы, возникающих в результате работы бортовых ЖРД.

Основным диагностическим средством в исследовании динамики отражательных характеристик ТГК во время работы ЖРД являлся ИРНР. Исследования отражательных характеристик ТГК проводились как при различной ориентации ТГК, так и в разных геофизических условиях: менялись типы и направления работы ДУ, масса выбрасываемого вещества, наблюдения велись на ночной и дневной стороне, при разных направлении и силе нейтрального ветра и т. д. Использовались различные режимы радиолокационных (РЛ) измерений: менялась последовательность излучения и форма РЛ-сигналов, полоса приемного канала, тип приемника. С целью контроля качества формирования и контроля стабильности уровня излучения велась регистрация излучаемых сигналов на двухканальном цифровом приемнике в полосе 2500 КГц.

На рис. 58 представлены результаты, полученные 28 августа 2011 г. при работе СКД «на РНР»: правая панель — динамика амплитуды РЛ-сигнала для нижнего, левая — для верхнего полурупора антенны ИРНР. Время работы выделено красными вертикальными линиями. В этом сеансе влияние СКД на динамику амплитуды РЛ-сигнала самое показательное в августовской сессии 2011 г. Во время работы СКД амплитуда РЛ-сигналов в полурупорах резко упала в 1.4 раза (эффективная площадь рассеяния (ЭПР) на 3Дб) и также резко восстановилась в момент окончания работы СКД.

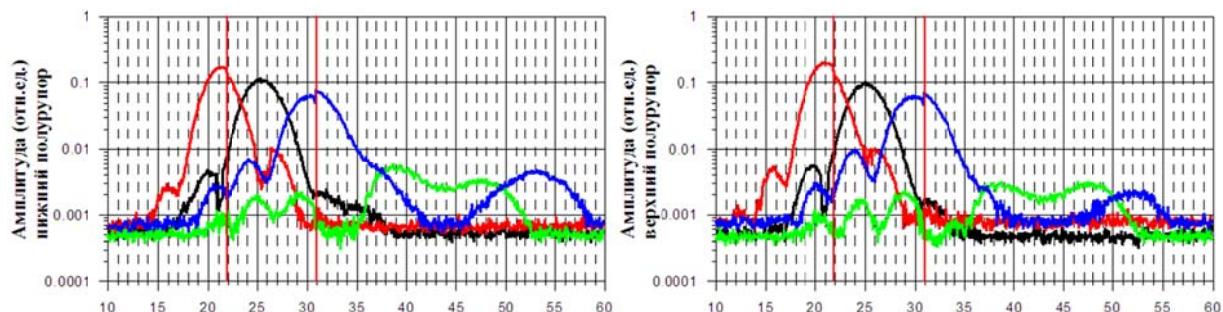


Рис. 58. Результаты измерений 28 августа 2011 г., СКД «на РНР», время работы СКД обозначено красными вертикальными линиями

Использование ЛЧМ-сигнала позволяет непосредственно определять антенный азимут по положению максимума амплитуды принятого сигнала. Точность определения антенного азимута таким способом может достигать 15 угловых с. На рис. 59 представлены результаты, полученные 25 августа 2012 г. СКД «на РНР»: левая верхняя панель — динамика амплитуды прямоугольных РЛ-сигналов, правая верхняя — динамика амплитуды ЛЧМ РЛ-сигнала, правая нижняя панель — динамика ЭПР ТГК, левая нижняя — геометрия АКЭ. В моменты включения/выключения СКД амплитуда сигнала меняется рывком, во время работы СКД возмущение отрицательное на всех частотах. После включения СКД ЭПР с  $8.3 \text{ м}^2$  снижается до  $5 \text{ м}^2$  (на 35 %).

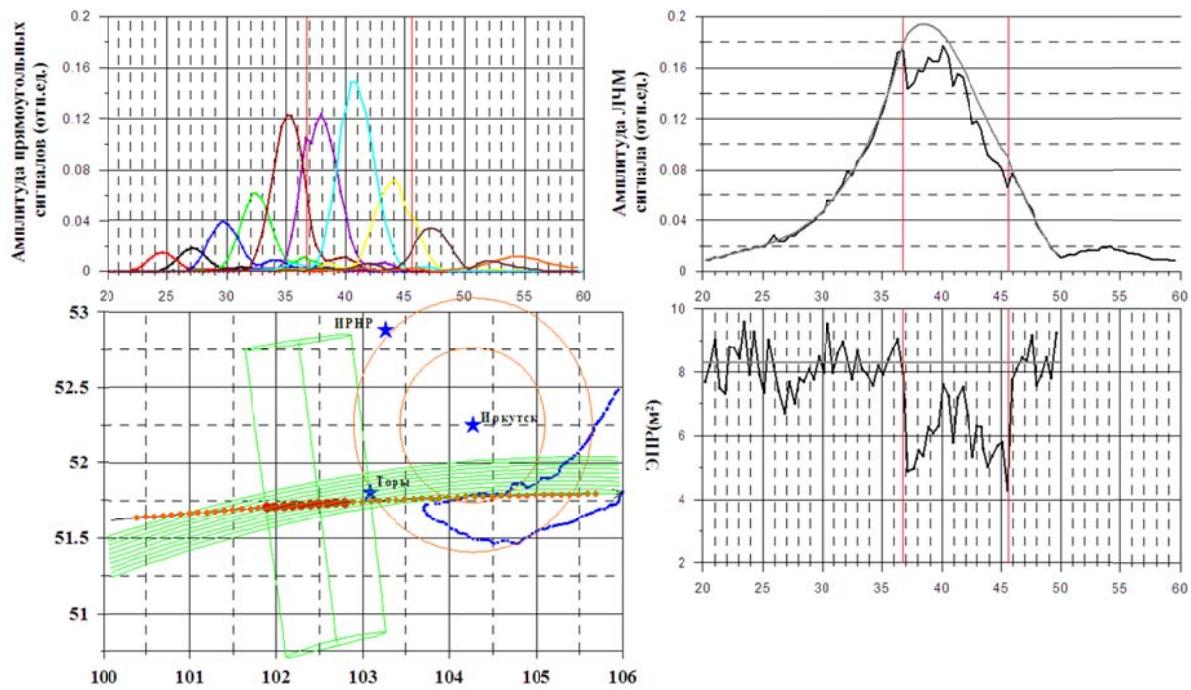


Рис. 59. Результаты измерений 25 апреля 2012 г., СКД «на PHP»

На рис. 60 представлены интересные результаты, полученные 26 апреля 2012 г. СКД «на PHP»: левая панель — динамика амплитуды прямоугольных РЛ-сигналов, правая — динамика ЭПР ТГК. Во время работы СКД наблюдается сильное отрицательное возмущение в динамике амплитуды сигнала, ЭПР с  $8.3 \text{ m}^2$  падает до  $6 \text{ m}^2$  (на 25 %) после включения СКД.

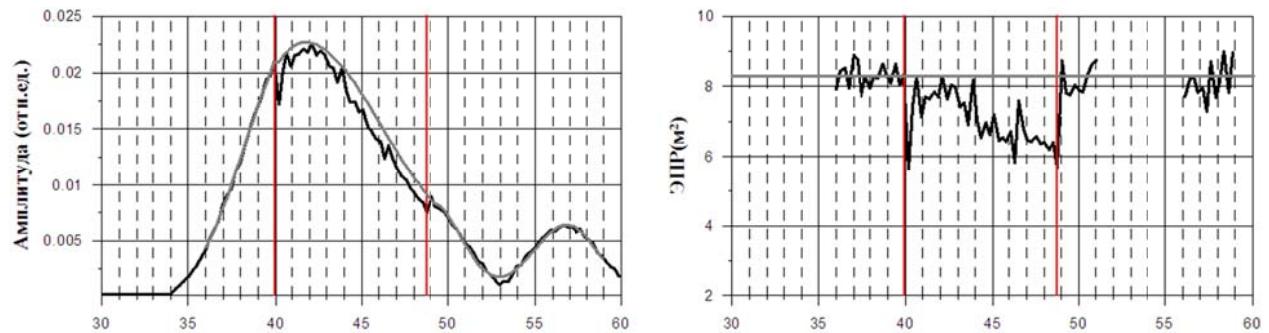


Рис. 60. Результаты измерений 26 апреля 2012 г., СКД «на PHP»

На рис. 61 представлены результаты, полученные 14 апреля 2014 г., СКД «на PHP». Видна сильная вариативность амплитуды сигнала во время работы СКД, а также до включения и после выключения СКД. Наблюданная динамика амплитуды сигнала обусловлена тем, что между PHP и ТГК находилась область, в которой развились интенсивные естественные мелкомасштабные неоднородности в F-слое ионосферы, что подтверждается данными DPS-4. Таким образом, естественные мелкомасштабные возмущения способны сформировать сильные вариации в динамики амплитуды РЛ-сигнала, сравнимые с воздействием двигательных установок ТГК.

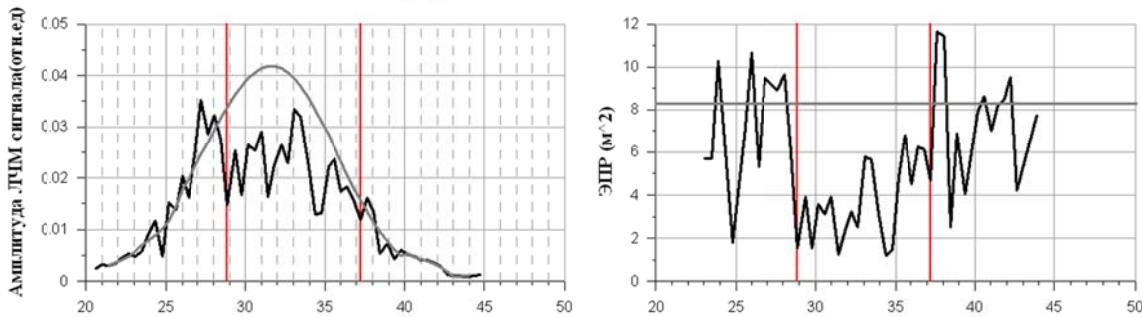


Рис. 61. Результаты измерений 14 апреля 2014 г., СКД «на PHP»

На рис. 62 представлены результаты за 27 июля 2014 г.

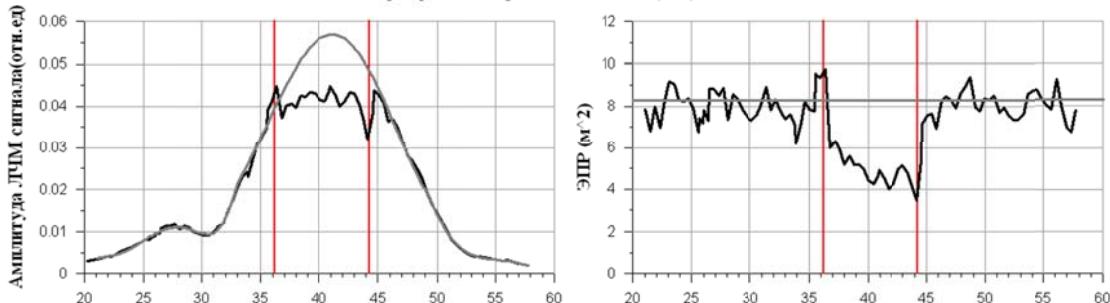


Рис. 62. Результаты измерений 27 июля 2014 г., СКД «на PHP»

На рис. 62 приведены типичные результаты, полученные с помощью нового оборудования и методики, использующей ЛЧМ-сигнал. В момент включения СКД эффективная ЭПР ТГК в течение 0.5 с падает на 25–30 %, а после выключения СКД ЭПР также быстро выходит на расчетный уровень  $\sim 8.3 \text{ m}^2$ . Описанное поведение ЭПР соответствует ориентации СКД в направлении «на PHP».

Использование ЛЧМ-сигнала позволило повысить точность измерения дальности и антеннного азимута. Траекторная информация при работе СКД меняется незначительно, вариации дальности не превышают 50 м, вариации углов не превышают 5 угл. мин. Данный результат подтверждает результаты моделирования, показывающие, что размеры области с критическим уровнем электронной концентрации для частоты 160 МГц составляют 40–60 м.

Результаты получены в рамках выполнения проекта II.12.2.2 программы фундаментальных исследований СО РАН.

### Публикации

1. Khakhinov V.V., Shpynev B.G., Lebedev V.P., Kushnarev D.S., Alsatkin S.S. Remote sensing of ionospheric disturbances caused by exhaust jets of the Progress Cargo Spacecraft // PIERS Proceedings, July 6–9, Prague. 2015. P. 701–704.
2. Лебедев В.П., Хахинов В.В., Потехин А.П., Кушнарев Д.С., Куршаков М.Ю., Твердохлебова Е.М. Радиолокационные характеристики ТГК «Прогресс» во время работы бортовых ЖРД // Сборник трудов XXIX Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», г. Санкт-Петербург, ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015. (В печати).
3. Khakhinov V., Lebedev V., Kushnarev D. The active space experiments for investigation of ionospheric disturbances // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2015): Тезисы докладов. 2015. С. 300.
4. Лебедев В.П. Развитие диагностических возможностей Иркутского радара некогерентного рассеяния для решения задач контроля космических аппаратов и проведения активных космических экспериментов: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2015. 28 с.

## Моделирование распространения КВ-радиосигналов в волноводе Земля – ионосфера с учетом нестационарных процессов

Учет нестационарности проводится в приближении квазистационарности, т. е. во время распространения сигнала среда считается стационарной, а изменения происходят от сигнала к сигналу.

В рамках волноводного подхода предложена модель распространения радиоволн в волноводе Земля–ионосфера для декаметрового диапазона в случае, когда несущая частота сигнала может быть меньше минимальной критической частоты ионосферного слоя вдоль трассы распространения. На основе метода нормальных волн была модифицирована схема решения радиальной задачи и построения спектра радиального оператора. Для частот, меньших критической частоты слоя F2, реальные части спектрального параметра образуют последовательность, сходящуюся к нулю, что физически соответствует наличию углов распространения, сколь угодно близких к вертикали. Мнимые части спектрального параметра растут с номерами, но обусловлено это не прохождением волн через ионосферный барьер, а поглощением в ионосфере. Разработан численный алгоритм расчета электромагнитного поля излучения для частот, для которых существует регулярный волновод Земля–ионосфера и число нормальных волн достаточно велико.

На основе разработанного алгоритма были промоделированы эффекты влияния солнечных вспышек на условия распространения КВ-радиоволн. В результате всплесков рентгеновского излучения во время вспышек наблюдаются внезапные ионосферные возмущения, проявляющиеся в увеличении ионизации в D- и E-областиах освещенной ионосферы. Аномально повышенное поглощение коротковолновых сигналов за счет роста ионизации в нижних слоях ионосферы может приводить как к увеличению наименее наблюданной частоты (ННЧ) радиосвязи, так и к исчезновению сигналов, соответствующих модам с многократным отражением от ионосферного слоя. В определенных условиях, в зависимости от степени освещенности трассы и мощности солнечной вспышки, может наблюдаться «блэк-аут» во всей полосе частот зондирования.

Для моделирования были выбраны четыре периода солнечных вспышек: 25.02.2014, 25.10.2013, 13–14.05.2013. Характеристики вспышек приведены в табл. 5.

Таблица 5.

Дата	Балл	Начало, УТ	Максимум, УТ	Окончание, УТ
13.05.2013	X 1.7	01:53	02:17	02:32
14.05.2013	X 3.2	01:00	01:11	01:20
25.10.2013	X 1.7	07:53	08:01	08:09
25.02.2014	X 4.9	00:39	00:49	01:03

Солнечная вспышка класса X4.9, произошедшая 25 февраля 2014 г. при максимуме в 00:49 УТ, стала одной из самых сильных в 24-м цикле солнечной активности. Всплеск рентгеновского излучения привел к увеличению поглощения КВ-сигналов, что и было зарегистрировано на ионограммах, полученных в период вспышки на трассах наклонного зондирования Магадан–Иркутск и Хабаровск–Иркутск. Для интерпретации наблюдавшихся эффектов было проведено моделирование характеристик распространения по фоновой модели ионосферы в спокойных условиях и в условиях солнечной вспышки класса X.

На рис. 63 приведены результаты расчетов дистанционно-частотной и амплитудно-частотной характеристик (ДЧХ и АЧХ) отдельных модов распространения в период вспышки на трассе Магадан–Иркутск. При расчете амплитудных характеристик сигналов учитывались диаграммы направленности передающей и приемной антенн и мощность передатчика.

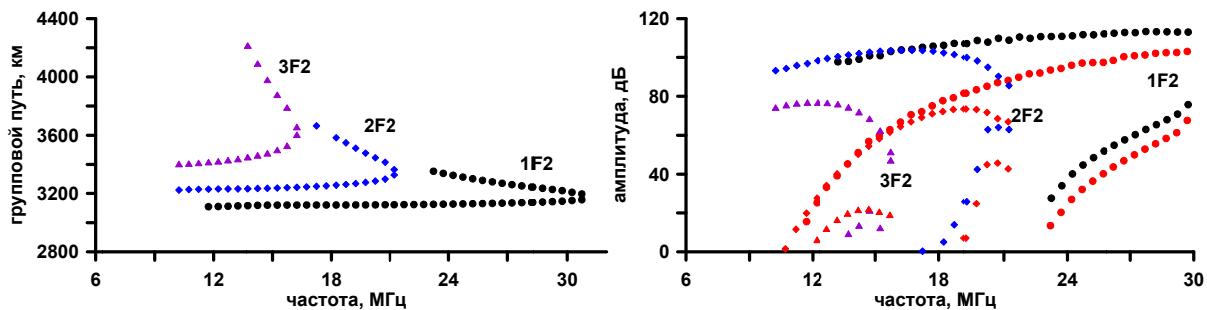


Рис. 63. Результаты моделирования ДЧХ и АЧХ на трассе Магадан–Иркутск, 25 февраля 2014 г., 01:00 UT

Результаты моделирования АЧХ в условиях солнечной рентгеновской вспышки показаны на рисунке красным цветом. На рис. 64 приведены экспериментальные ионограммы НЗ до начала вспышки (00:40 UT) и после вспышки (00:50 UT). Результаты расчета ДЧХ по выбранному относительному уровню амплитуды сигнала 50 дБ нанесены линиями. Из сопоставления экспериментальных и расчетных ионограмм НЗ расчетная оценка дополнительного поглощения радиоволн по модели ионосферы и плазмосферы в условиях солнечной вспышки на низких частотах составляет  $\sim 40 \div 50$  дБ.

На рис. 65 приведены экспериментальные ионограммы НЗ, полученные на трассе Хабаровск–Иркутск до начала вспышки (00:41 UT) и после вспышки (00:51 UT), и результаты моделирования ДЧХ. В период вспышки на данной трассе, наряду с модом третьей кратности, сильно затухает мод второй кратности.

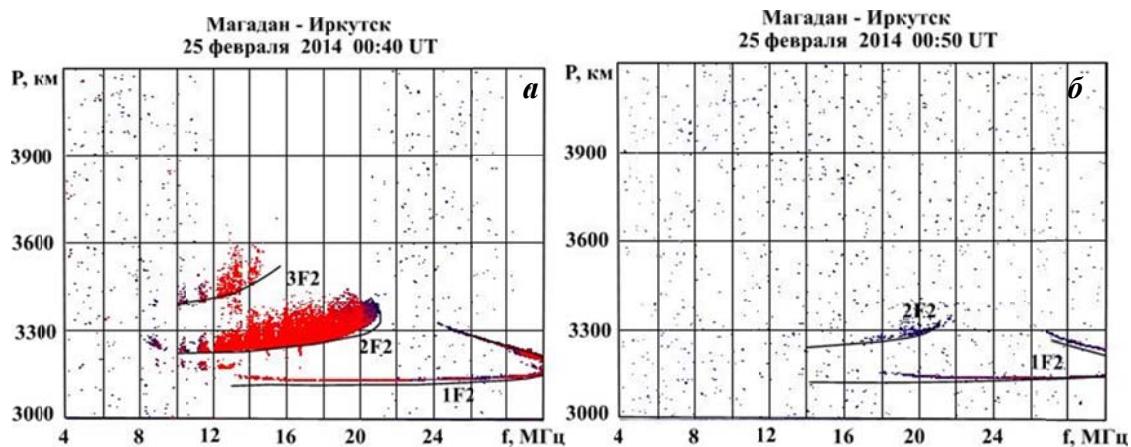


Рис. 64. Ионограммы наклонного ЛЧМ-зондирования 25 февраля 2014 г. на трассе Магадан–Иркутск и результаты моделирования ДЧХ: *а* — 00:40 UT, *б* — 00:50 UT

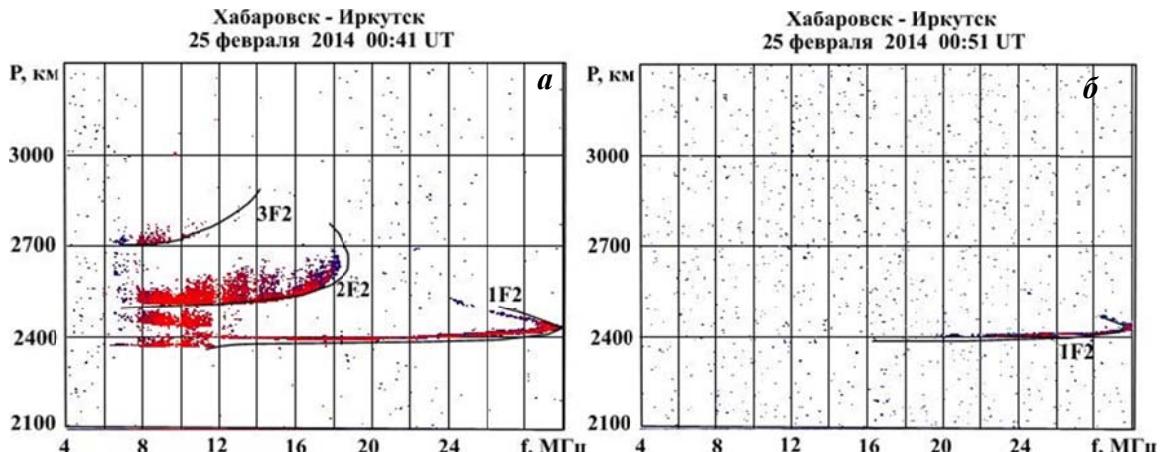


Рис. 65. Ионограммы наклонного ЛЧМ-зондирования 25 февраля 2014 г. на трассе Хабаровск–Иркутск и результаты моделирования ДЧХ: *а* — 00:41 UT, *б* — 00:51 UT

На рис. 66 приведены экспериментальные ионограммы НЗ, полученные на трассе Норильск – Иркутск в период вспышки 25 октября 2013 г., и результаты моделирования ДЧХ. Отметим, что расчет ионосферных профилей электронной концентрации и эффективной частоты соударений в узловых точках трассы распространения проводился без адаптации модели ионосферы и плазмосферы к реальным условиям эксперимента по входным параметрам. Поэтому при сопоставлении результатов моделирования с экспериментальными данными наблюдается расхождение по МПЧ модов распространения.

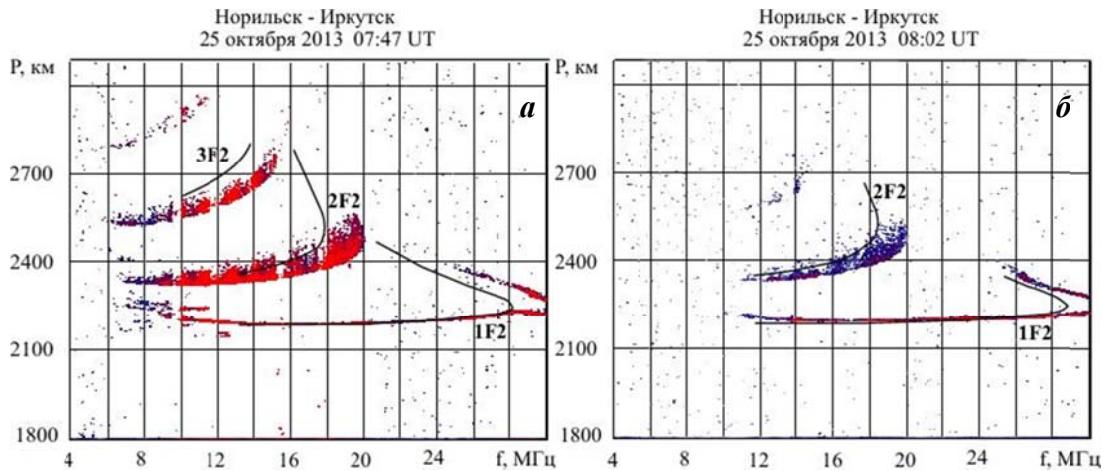


Рис. 66. Ионограммы наклонного ЛЧМ-зондирования 25 октября 2013 г. на трассе Норильск–Иркутск и результаты моделирования ДЧХ: *а* — 07:47 UT, *б* — 08:02 UT

На рис. 67 приведены ионограммы НЗ, полученные на трассе Магадан–Иркутск в период вспышки 13 мая 2013 г., и результаты моделирования ДЧХ. В спокойных условиях в точку приема приходят одно-, двух- и трех скачковые сигналы, отраженные от различных слоев ионосферы (E, F1, F2). За счет аномального поглощения в нижней ионосфере в период солнечной вспышки регистрируются только сигналы первой кратности, отраженные от F2-слоя. При этом ННЧ увеличивается на  $\sim 9$  МГц.

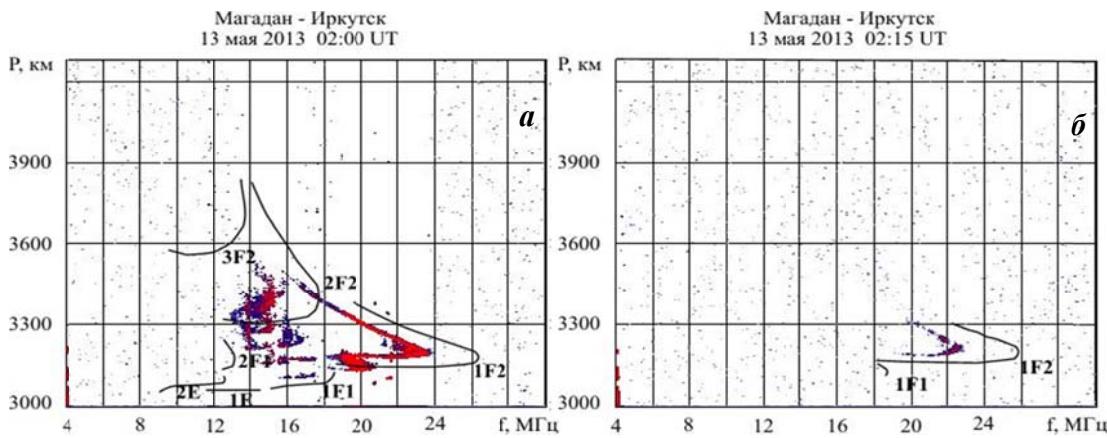


Рис. 67. Ионограммы наклонного ЛЧМ-зондирования 13 мая 2013 г. на трассе Норильск–Иркутск и результаты моделирования ДЧХ: *а* — 02:00 UT, *б* — 02:15 UT

Таким образом, во время рентгеновских вспышек класса X на ионограммах, полученных на сети анализируемых трасс, полностью «исчезают» третий и частично второй моды распространения сигналов. Для модов распространения первой кратности существенно увеличивается ННЧ, которая может достигать значений 15–18 МГц. Наблюдается эффект ослабления ( $\sim 20 \div 40$  дБ) радиоволн, усиливающийся для низкочастотной части КВ-диапазона.

Результаты получены в рамках выполнения проекта II.12.2.2 программы фундаментальных исследований СО РАН.

### **Публикации**

1. Пономарчук С.Н., Котович Г.В., Романова Е.Б., Ташилин А.В. Прогноз характеристик распространения декаметровых радиоволн на основе глобальной модели ионосферы и плазмосферы // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 49–54.
2. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kim A.G., Kotovich G.V., Podlesniy A.V. The near real-time diagnostics of ionosphere parameters at the middle point of the radio path on the base of oblique sounding data // Proc. SPIE. 2015. V. 9680. P. 96805E. DOI: 10.1117/12.2203589.
3. Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Lyakhov A.N., Romanova E.B., Tashchilin A.V. The modeling of HF radio wave propagation characteristics during the periods of solar flares // Proc. SPIE. 2015. V. 9680. P. 96805F. DOI: 10.1117/12.2203591.
4. Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Polekh N.M., Podlesniy A.V., Zolotukhina N.A., Romanova E.B. The effects of space weather for HF propagation in the period of solar flare on 25 February 2014 // Proc. SPIE. 2015. V. 9680. P. 96805G. DOI: 10.1117/12.2203592.
5. Ponomarchuk S.N., Polekh N.M., Romanova E.B., Zolotukhina N.A., Kurkin V.I., Podlesniy A.V. The disturbances of ionospheric radio channel during magnetic storm on March 17–19, 2015 // Proc. SPIE. 2015. V. 9680. P. 96805H. DOI: 10.1117/12.2203593.
6. Penzin M.S., Ilyin N.V. The modeling of frequency Doppler shift in multibeam weakly non-stationary radio channels // Proc. SPIE. 2015. V. 9680. P. 96801R. DOI: 10.1117/12.2205744.

### **Влияние фокусировок и ракурсных характеристик ионосферных неоднородностей в одно- и двухпозиционной постановке задачи радиолокации на сигналы коротковолновых радаров SuperDARN**

Для интерпретации результатов совместных российско–украинских двухпозиционных экспериментов по регистрации сигналов радара ЕКВ с использованием когерентного приемного комплекса и остронаправленной фазированной антенной решетки радиотелескопа УТР-2 (Радиоастрономическая обсерватория им. С. Я. Брауде Радиоастрономического института НАНУ, Харьковская обл., Украина) был разработан программный комплекс для поиска зон ракурсного рассеяния радиосигнала на магнитоориентированных ионосферных неоднородностях (МОИН) и проведено моделирование зон ракурсного рассеяния в приложении к данному эксперименту с учетом рефракции в неоднородной ионосфере.

Для анализа обратно–рассеянных сигналов с экспериментально наблюдаемыми характеристиками проводилось численное моделирование распространения радиоволн с учетом реальных ионосферных условий. Расчет характеристик сигналов проводился в приближении геометрической оптики для холодной изотропной плазменной среды. Для этого применялся известный метод, в котором используется система лучевых уравнений. В качестве модели среды распространения была выбрана модель ионосферы IRI-2012, скорректированная с учетом полученных на ионозонде «Арти» реальных значений электронной концентрации в максимуме F-слоя ( $N_mF2$ ) за 29.03.2014. Коррекция модели среды проводилась в три этапа. На первом этапе для конкретного момента времени рассчитывалось значение концентрации  $N_mF2$  над ионозондом по модели IRI-2012. Отношение измеренной и модельной концентраций  $N_mF2$  (коэффициент коррекции) считалось фиксированным для каждого момента времени по всей трассе. На втором этапе из модельных профилей электронной концентрации вдоль всей радиотрассы вычислялся набор значений  $N_mF2$ , используемый далее для коррекции модели IRI-2012. Для этого полученные модельные значения максимальной электронной концентрации  $N_mF2$  умножались на корректирующий множитель, оцененный на первом этапе. На заключительной стадии расчетов скорректированные значения  $N_mF2$  использовались как входной параметр для формирования высотных профилей электронной концентрации по модели IRI-2012. Таким образом, в данной задаче использовался как внутренний механизм коррекции модели IRI-2012, так и результаты непосредственных ионосферных измерений.

Полученные путем сплайн-интерполяции IRI-профилей по широте и долготе характеристики среды распространения пробного излучения использовались для построения набора лучей с начальными условиями, соответствующими диаграмме направленности установки. Если луч попадал в интересующий объем зондирования (соответствующие дальность и высота), то его групповой путь интерпретировался как возможный для прохождения радиоволны. Применение такого метода расчета к суточному объему данных ионозонда обсерватории «Арти» позволило оценить ожидаемую динамику радиолокационных дальностей, с которых возможен прием рассеянных сигналов. Аналогичное моделирование было проведено как для трассы ЕКВ–РАО, так и для трассы ЕКВ–МОИН–РАО.

Нами также было проведено моделирование зон ракурсного рассеяния в приложении к данному эксперименту. В случае обратного рассеяния (ЕКВ–МОИН–ЕКВ) эта задача эквивалентна поиску точек на геометрооптическом луче, в которых его волновой вектор ортогонален силовой линии геомагнитного поля (моностatischeская задача. В случае бистатической задачи (трасса ЕКВ–МОИН–РАО) это эквивалентно поиску точек, в которых силовая линия геомагнитного поля ортогональна волновому вектору неоднородностей, участвующих в рассеянии. Он определяется из условия Вульфа–Брэгга как разность волновых векторов падающего и рассеянного полей. В этом случае в коротковолновом диапазоне решение значительно усложняется, так как становится необходимо осуществить пристрелку в каждую точку исследуемого пространства геометрооптических лучей от двух источников (ЕКВ и РАО) и определить, какая из комбинаций геометрооптических лучей ЕКВ–МОИН и РАО–МОИН удовлетворяет условию ракурсного рассеяния.

Моделирование распространения луча в регулярной ионосфере, соответствующей условиям проведения эксперимента, проводилось в рамках того же метода, что и при анализе распространения прямого сигнала ЕКВ–РАО. Для получения пространственного распределения зон ракурсного рассеяния на траектории ЕКВ–МОИН диаграмма направленности радара ЕКВ в вертикальной плоскости разбивалась на набор лучей с шагом по углу места в  $0.005^\circ$ . При анализе распространения на траектории МОИН–РАО диаграмма направленности радиотелескопа УТР-2 в вертикальной плоскости считалась изотропной и разбивалась на лучи с тем же шагом по углу места. Как и при моделировании прямого сигнала, в качестве модели фоновой ионосферы использовалась модель IRI-2012, скорректированная на дату проведения эксперимента по результатам измерений ионозондом «Арти» описанным ранее методом. Магнитное поле Земли задавалось моделью IGRF-11. Данная задача характеризуется большой вычислительной сложностью, поскольку необходимо находить электронную концентрацию и геомагнитное поле в каждой точке большого числа траекторий (более 10 000 для одного направления и одного момента времени). Поэтому моделирование проводилось на 72 процессорах вычислительного кластера Blackford ИНЦ СО РАН. Разделение задачи по процессам выполнялось с использованием технологии Message Passing Interface (MPI). Это позволило существенно сократить время работы программы.

При моделировании предполагалось, что азимут излучения радара ЕКВ направлен на север, а частота излучаемого сигнала составляет 10 МГц. Это соответствует условиям проведения эксперимента. Поскольку наиболее интенсивный рассеянный сигнал наблюдался в РАО в период 19:00–20:00 UT, моделирование проводилось для этого промежутка времени. При анализе можно выделить три зоны ортогональности. Первая и вторая зоны сосредоточены на высотах 100–250 км, где происходит отражение большей части лучей от регулярной ионосферы. Таким образом, эти области примерно соответствуют серединам первого (до 500 км) и второго (свыше 1 500 км) скачка распространения волны. Третья зона ортогональности сосредоточена на высотах 250–400 км и соответствует лучам, близким к лучу Педерсена.

Как показывает анализ дальностей, именно третья зона соответствует рассеянию, наблюдаемому в эксперименте. Сравнение дальности до областей рассеяния показало, что в обоих случаях сигнал приходит с дальностей 1 200–1 600 км, что соответствует высотам рассеяния 340–380 км, близким к высоте максимума слоя F2. Это позволяет предполагать, что на приемниках ЕКВ и РАО в этом эксперименте наблюдаются одни и те же неоднородности с высот 340–380 км и моделирование проведено адекватно.

Из анализа экспериментальных данных видно, что в сигнале возвратно-наклонного зондирования чаще наблюдаются две моды распространения с максимальной разницей по дальности до 600 км. В период 00:00–02:00 UT условия наблюдения сигнала на трассе ЕКВ–РАО отсутствуют. В интервале наблюдений в РАО сигнала с большими дальностями (17:50–20:00 UT) сигнал, соответствующий прямой радиотрассе (1 600 км), распространялся только одним скачком с отражением от F-области ионосферы (с задержками, соответствующими 1 700–1 800 км). Этот вывод подтверждает возможность использования такого сигнала в качестве «подсветки» для оценок дальностей рассеяния пробного излучения от полярных ионосферных неоднородностей, ориентированных вдоль магнитного поля.

Были построены разности радиолокационных дальностей для сигнала, рассеянного на неоднородностях в области пересечения диаграмм направленности антенн ЕКВ и УТР-2, и прямого сигнала (трасса ЕКВ–РАО). Времена задержек радиосигнала для траектории ЕКВ–МОИН–РАО рассчитаны для высоты рассеяния 360 км, полученной в результате моделирования областей ракурсного рассеяния. Как показал анализ, основное рассеяние на данных высотах могло наблюдаться в утреннее (00:00–01:00 UT) и ночное (19:00–20:00 UT) время. Необходимо заметить, что, поскольку наиболее интенсивное рассеяние в РАО наблюдалось также в период 19:00–20:00 UT, полученные результаты являются дополнительным косвенным подтверждением верности проведенного моделирования.

Было проведено сравнение параметров рассеянного сигнала, измеренных в РАО, с результатами моделирования и с аналогичными характеристиками, полученными при одновременных наблюдениях рассеяния на ионосферных неоднородностях в однопозиционном варианте.

Как показал анализ, верхняя граница области рассеяния 1 400 км в период 19:00–20:00 UT хорошо совпадает с экспериментальными измерениями, в то время как нижняя граница по экспериментальным данным меньше на 100–150 км, чем предсказывают результаты моделирования (1 250 км). Заметим, что модельные расчеты для ночного времени систематически завышают дальность на 100–200 км, поэтому наблюдаемые отличия могут быть объяснены в том числе и систематической ошибкой модели распространения сигнала.

Для дополнительной верификации предположения о формировании сигнала за счет рассеяния на авроральных неоднородностях было проведено сравнение скоростей, измеренных в предполагаемой области рассеяния по данным радара ЕКВ и по данным РАО.

Одновременные измерения проекций вектора скорости на два направления позволяют решить задачу о восстановлении вектора скорости неоднородностей в плоскости, перпендикулярной магнитному полю Земли в точке рассеяния (далее мы будем называть его полным вектором скорости в соответствии с общепринятым подходом к восстановлению вектора скоростей на радарах SuperDARN). Эта стандартная радиолокационная задача решалась нами из геометрических соображений. Проекция скорости определялась по волновому числу неоднородностей, участвующих в рассеянии.

Для оценки влияния погрешностей определения скоростей по измерениям ЕКВ и РАО на результат расчета полного вектора скорости было рассмотрено распределение рассчитываемых скоростей по азимутам и модулям в следующей модели, имитирующей эксперимент. Модельные скорости для радара ЕКВ и РАО получались из соответствующих экспериментальных данных, усредненных за 35 мин, при добавлении к ним дополнительной знакопеременной случайной величины со среднеквадратичным отклонением 20 м/с. Полученные ряды обрабатывались по изложенной выше методике для оценки полного вектора скорости. Полученное распределение похоже на распределение, рассчитанное по экспериментальным данным. Это позволяет заключить, что значительная погрешность в измерении проекций скорости перемещения неоднородностей может приводить к наблюдаемому разбросу скоростей, а характерные направления движения неоднородностей связаны с малыми измеряемыми продольными скоростями, малым углом между измеряемыми проекциями скоростей и высокой погрешностью измерений в сравнении с абсолютным значением скорости. Это позволяет объяснить нехарактерное для указанного времени направление вектора движения неоднородностей.

Сравнение уровней рассеянного сигнала на приемниках ЕКВ и РАО показывает большую изменчивость амплитуды рассеянного сигнала, принятого РАО, по сравнению с амплитудой сигнала от ионосферных неоднородностей на радаре ЕКВ, выражающуюся, например, в резком уменьшении первой на 15 дБ в 19:37 UT. Объяснение этого эффекта в настоящее время отсутствует. Возможно, он связан с особенностями ионосферного распространения на участке трассы МОИН–РАО.

Таким образом, численное моделирование и сравнение с экспериментом показали, что наиболее хорошо набор данных, полученных при моностатическом и бистатическом зондировании, описывается случаем, когда рассеяние формируется радиолучами, распространяющимися в области луча Педерсена.

### **Публикация**

Бернгардт О.И., Кутелев К.А., Куркин В.И., Гркович К.В., Ямпольский Ю.М., Кащеев А.С., Кащеев С.Б., Галушко В.Г., Григорьева С.А., Кусонский О.А. Двухпозиционная локация высокоширотных ионосферных неоднородностей с использованием декаметрового радара ЕКВ и радиотелескопа УТР-2: первые результаты // Известия вузов. Радиофизика. 2015. Т. 58, № 6. С. 433–453.

### **4.3. Исследование динамических процессов в магнитосфере и высокоширотной ионосфере Земли методом обратного рассеяния радиоволн коротковолнового диапазона**

#### **Первые бистатические наблюдения на радиолокаторах типа SUPERDARN**

Впервые продемонстрирована возможность создания макета бистатического радиолокатора на базе действующего однопозиционного когерентного декаметрового радара ЕКВ (использующего стандартную аппаратуру и программное обеспечение радаров SuperDARN) и приемной высокочастотной системы Радиоастрономического института НАНУ с использованием остронаправленной фазированной антенной решетки радиотелескопа УТР-2, расположенной на расстояние примерно 1600 км от передающей позиции.

В целом первый опыт по реализации двухпозиционной схемы когерентного высокочастотного локатора на базе технологии стандартных радаров SuperDARN для исследования эффектов рассеяния на высокоширотных ионосферных неоднородностях оказался успешным и может быть рекомендован к использованию для других радаров SuperDARN. Как продемонстрировал эксперимент, в отличие от двухпозиционного зондирования в более высокочастотном диапазоне, например радарами EISCAT, при выполнении регулярных двухпозиционных измерений на радарах SuperDARN необходимо, во-первых, обеспечить дополнительные измерения вертикального профиля электронной концентрации для корректного учета рефракции радиосигнала в ионосфере и, во-вторых, развить более сложное и ресурсоемкое программное обеспечение для интерпретации экспериментальных данных.

### **Публикации**

1. Бернгардт О.И., Кутелев К.А., Куркин В.И., Гркович К.В., Ямпольский Ю.М., Кащеев А.С., Кащеев С.Б., Галушко В.Г., Григорьева С.А., Кусонский О.А., Двухпозиционная локация высокоширотных ионосферных неоднородностей с использованием декаметрового радара ЕКВ и радиотелескопа УТР-2: первые результаты // Известия вузов. Радиофизика. 2015. Т. 58, № 6. С. 433–453.

2. Berngardt O.I., Kashcheyev A.S., Kashcheyev S.B., Galushko V.G., Grigorieva S.A., Kusonsky O.A., Kutelev K., Yampolsky Yu.M., Kurkin V.I., Grkovich K.V. Bistatic sounding of high-latitude ionospheric irregularities using a Decameter EKB Radar and anUTR-2 Radio Telescope: First results // Radiophysics and Quantum Electronics. 2015. V. 58, № 6. P. 390–408. DOI:10.1007/s11141-015-9614-1.

## Оптимальные сигналы класса линеек Голомба для спектральных измерений на радарах типа SUPERDARN

Сформулированы требования к квазиоптимальным и оптимальным последовательностям для радаров SuperDARN для периодических многоимпульсных последовательностей класса линеек Голомба. Требования основаны на поиске последовательностей, которые обеспечивают максимальность первой пропускаемой задержки в автокорреляционной функции (АКФ) принимаемого сигнала.

Полученные квазиоптимальные сигналы основаны на оптимальных и почти оптимальных линейках Голомба (см. табл. 6). Показано, что стандартная 7-импульсная последовательность SuperDARN является одним из квазиоптимальных зондирующих сигналов, а 8-импульсная последовательность katscan SuperDARN — нет. Характеристики последовательностей рассчитаны для квазиоптимальных последовательностей вплоть до 26-импульсной.

Показано, что наиболее эффективными сигналами для спектральных измерений (в смысле максимальности первой пропускаемой задержки в АКФ и минимальной длины последовательности) являются 10-, 12-, 14-, 18-, 20-, 24- и 26-импульсные последовательности, которые соответствуют оптимальным линейкам Голомба.

Представлены результаты первых спектральных измерений на когерентном декаметровом радаре Екатеринбург (ЕКБ) с квазиоптимальными 8- и 9-импульсными последовательностями, а также с оптимальными 10- и 12-импульсными последовательностями. Проведено сравнение с результатами, полученными стандартными 7-импульсными последовательностями SuperDARN.

Таблица 6. Характеристики квазиоптимальных зондирующих сигналов, основанных на оптимальных и почти оптимальных линейках Голомба:

- а — отношение положения первой плохой задержки к полному количеству задержек;  
б — длины почти оптимальных линеек Голомба, проанализированные в работе;  
с — оптимальные последовательности.

<i>N</i>	<i>M</i>	<i>L</i>	Pulse Positions	$\xi$	FBL	FBL/L <sup>a</sup>	<i>L</i> <sub>inv</sub> <sup>b</sup>
7	21	27	0 9 12 20 22 26 27	0.77	16	0.59	[25..29]
8	28	35	0 4 5 17 19 25 28 35	0.80	22	0.62	[34..40]
9	36	45	0 2 10 24 25 29 36 42 45	0.80	28	0.62	[44..55]
10 <sup>c</sup>	45	55	0 1 6 10 23 26 34 41 53 55	0.82	36 <sup>c</sup>	0.65	[55..65]
11	55	83	0 4 5 16 22 24 31 45 70 73 83	0.66	30	0.36	[72..85]
12 <sup>c</sup>	66	85	0 2 6 24 29 40 43 55 68 75 76 85	0.78	48 <sup>c</sup>	0.56	[85..100]
13	78	113	0 3 13 25 33 39 54 85 86 102 104 109 113	0.69	34	0.30	[106..114]
14 <sup>c</sup>	91	127	0 4 6 20 35 52 59 77 78 86 89 99 122 127	0.72	56 <sup>c</sup>	0.44	[127..136]
15	105	156	0 2 15 33 49 56 68 104 118 126 129 146 150 155 156	0.67	39	0.25	[151..160]
16	120	184	0 11 32 33 60 68 75 77 80 106 131 147 161 165 171 184	0.65	39	0.21	[177..185]
17	136	201	0 5 15 34 35 42 73 75 86 89 98 134 151 155 177 183 201	0.67	72	0.35	[199..213]
18 <sup>c</sup>	153	216	0 2 10 22 53 56 82 83 89 98 130 148 153 167 188 192 205 216	0.70	91 <sup>c</sup>	0.42	[216..263]
19	171	294	0 3 7 13 28 39 47 48 98 121 167 184 198 200 222 227 264 276 294	0.58	52	0.17	[246..294]
20 <sup>c</sup>	190	283	0 1 8 11 68 77 94 116 121 156 158 179 194 208 212 228 240 253 259 283	0.67	98 <sup>c</sup>	0.34	[283..296]
24 <sup>c</sup>	276	425	0 9 33 37 38 97 122 129 140 142 152 191 205 208 252 278 286 326 332 353 368 384 403 425	0.65	128 <sup>c</sup>	0.30	[425..425]
26 <sup>c</sup>	325	492	0 1 33 83 104 110 124 163 185 200 203 249 251 258 314 318 343 356 386 430 440 456 464 475 487 492	0.66	159 <sup>c</sup>	0.32	[492..492]

Показана преемственность амплитуды и скорости; продемонстрировано ожидаемое улучшение спектрального разрешения.

### Публикация

Berngardt O.I., Voronov A.L., Grkovich K.V. Optimal signals of Golomb ruler class for spectral measurements at EKB SuperDARN radar: Theory and experiment // Radio Science. 2015. V. 50. P. 486–500. DOI:10.1002/2014RS005589.

## **Азимутальные характеристики ионосферных и сейсмических эффектов, связанных с падением метеорита «Челябинск», по данным когерентного радара, GPS и сейсмических сетей**

Представлены результаты изучения азимутальных характеристик ионосферных и сейсмических эффектов, вызванных метеоритом «Челябинск», на основе данных сети GPS-приемников, когерентного радара декаметрового диапазона ЕКВ и сети сейсмических станций, расположенных вблизи траектории падения метеорита. Показано, что 6–14 мин после взрыва болида GPS-сетью наблюдался волновой фронт перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) конической формы, что интерпретируется как баллистическая акустическая волна. Наблюданная скорость распространения типичных ПИВ составляла  $(661 \pm 256)$  м/с, что соответствует ожидаемой скорости акустической волны на высоте 240 км.

Через 14 мин после взрыва болида на расстоянии 200 км наблюдалось появление и распространение ПИВ с кольцевым фронтом, что интерпретируется как гравитационная мода внутренних атмосферных волн. Оцененный центр сферической волны находился в точке с координатами  $54.90^\circ$  N;  $60.85^\circ$  E. Скорость распространения ПИВ была  $(337 \pm 89)$  м/с, что соответствует скорости распространения этих волн в подобных ситуациях. На радаре ЕКВ наблюдались ПИВ в секторе азимутальных углов, близких к перпендикуляру к траектории метеорита. Наблюданная скорость ПИВ (400 м/с) и азимутальные характеристики хорошо коррелируют с моделью баллистической волны, распространяющейся на высоте 120–140 км. Таким образом, был зарегистрирован процесс трансформации ударной акустической волны в собственные колебания атмосферы.

Показано, что азимутальное распределение амплитуды вертикальных сейсмических колебаний с периодами 3–60 с может быть качественно описано моделью вертикального strike-slip-разлома, распространяющегося со скоростью 1 км/с по траектории падения метеорита на расстояние около 40 км. Эти параметры соответствуют направлению и скорости распространения пика баллистической волны по земле.

Показано, что модель баллистической волны, вызванной сверхзвуковым движением и горением метеорита в верхних слоях атмосферы, может удовлетворительно объяснить различные азимутальные ионосферные эффекты, наблюдавшиеся когерентным декаметровым радаром ЕКВ и сетью GPS-приемников, а также азимутальные характеристики сейсмических волн на больших расстояниях.

### **Публикации**

1. Berngardt O.I., Perevalova N.P., Dobrynina A.A., Kutelev K.A., Shestakov N.V., Bakhitiarov V.F., Kusonsky O.A., Zagretdinov R.V., Zherebtsov G.A. Towards the azimuthal characteristics of ionospheric and seismic effects of "Chelyabinsk" meteorite fall according to the data from coherent radar, GPS and seismic networks // J. Geophys. Res. Space Phys. 2015. V. 120. DOI:10.1002/2015JA021549.
2. Perevalova N.P., Shestakov N.V., Voeykov S.V., Takahashi H., Guojie M. Ionospheric disturbances in the vicinity of the Chelyabinsk meteoroid explosive disruption as inferred from dense GPS observations // Geophys. Res. Lett. 2015. V. 42. P. 6535–6543. DOI:10.1002/2015GL064792.

## **Эмпирическая модель электрической цепи динамо в возмущенной системе магнитосфера — ионосфера Земли по данным техники инверсии магнитограмм и сети радаров SuperDARN**

Обнаружены признаки образования ранее неизвестной глобальной неустойчивости обратной связи магнитосфера–ионосфера, которая (связь) есть необходимая причина глобальной взрывной фазы рассмотренных суббурь. Этот вывод не согласуется с современной концепцией суббурь и бурь и требует разносторонней проверки и развития.

Сконструирована схематическая модель электрической цепи взрывной фазы возмущений, описывающая ранее неизвестное пространственное распределение взрывного процесса.

### **Публикация**

Lunyushkin S.B., Berngardt O.I., Mishin V.V., Mishin V.M., Shirapov D. Sh. The electric potential distribution in the disturbed polar ionosphere: comparison of statistical models with the data of selected substorm intervals // Physics of Auroral Phenomena. 38<sup>th</sup> Annual Seminar. Proceedings. 2–6 March. 2015. Apatity. PGI–15–01–131.

### **Модель характеристик сигнала ВНЗ для КВ-радара «Екатеринбург»**

С использованием программного комплекса, основанного на методе нормальных волн, было проведено моделирование характеристик сигналов ВНЗ с учетом параметров КВ-радара «Екатеринбург» для периода с 2013 по 2015 г. В частности, были рассчитаны следующие характеристики: минимальный групповой путь, земная дальность до точки рассеяния, групповой путь и земная дальность до точки поворота (отражения) в ионосфере, соответствующие угол возвышения и истинная высота точки поворота. В качестве среды распространения использовалась модель IRI-2012.

Проведенное моделирование позволило изучить суточно–сезонное поведение основных (траекторных) характеристик сигнала ВНЗ: минимального группового пути, угла возвышения и истинной высоты отражения. Показано, что это поведение качественно объясняется соответствующим поведением критической частоты и высоты максимума соответствующего слоя для профиля вблизи точки отражения. Моделирование позволило оценить систематические ошибки при использовании стандартной методики географической привязки данных радара.

Сравнение показало, что модельные значения минимального группового пути в среднем превосходят среднемесячные, наблюдаемые на ~200–300 км, что, вероятно, является следствием недооценки критической частоты F2-слоя моделью IRI-2012. Однако среднегодовое отклонение модельных значений от наблюдаемых не превышает 18–32 % в зависимости от уровня солнечной активности и номера луча. В год более высокой солнечной активности отклонение существенно уменьшается.

Все данные моделирования сведены в модель суточно–сезонных вариаций сигнала ВНЗ для радара «Екатеринбург». Данная модель может быть использована для построения автоматизированного алгоритма обработки данных, а также для повышения точности географической привязки.

### **Публикация**

Oinats A.V., Kutelev K.A., Kurkin V.I. Simulation of HF ground backscatter measured by the Ekaterinburg SuperDARN Radar. Comparison with Observations // PIERS Proc. 2015. July 6–9, 2015. Prague, 2015. P. 2567–2571,

### **Методика коррекции привязки данных когерентного КВ-радара к географическим координатам**

Для оценки точности привязки данных радара ЕКВ проведено моделирование амплитуды сигнала возвратно–наклонного зондирования с использованием программного комплекса, разработанного в ИСЗФ СО РАН на основе адиабатического приближения метода нормальных волн. В качестве модели среды распространения используется модель IRI-2012. Для повышения реалистичности модели проводится ее адаптация по данным станций ВЗ: Арти (Ekb; 56.4° N, 58.5° E), Норильск (69.4° N, 88.1° E), Амдерма (AMD; 69.60° N, 60.20° E), Салехард (SAH; 66.52° N, 66.67° E), и Диксон (DIK; 73.52° N, 80.68° E). На рис. 68 показана схема расположения радара ЕКВ и его сектора обзора, а также станций ВЗ, данные которых используются при проведении коррекции.

В модели IRI-2012 имеется встроенный механизм гибкой адаптации посредством ввода пользователем основных параметров ионосферных слоев (в частности, критической

частоты и высоты максимума слоев). Таким образом, если имеются дополнительные измерения критической частоты, то их можно использовать для коррекции профиля электронной концентрации, рассчитываемого IRI. Для целей моделирования необходимо проводить коррекцию профиля вдоль всего пути распространения КВ-радиосигнала. Для решения этой задачи проводится интерполяция с использованием метода Шепарда.

Проведенное моделирование позволило сделать вывод, что адаптация модели IRI-2012 по приведенному алгоритму позволяет добиться лучшего соответствия между данными наблюдений и результатами моделирования. Рассмотренный алгоритм адаптации позволяет без существенных изменений добавлять дополнительные данные (данные с других станций ВЗ, а также измеренные значения высоты максимума). Это в перспективе позволит добиться еще лучшего соответствия. Полученные при моделировании с использованием адаптации координаты точки отражения от ионосферного слоя предлагаются использовать для улучшения привязки данных измерений на радаре ЕКВ.

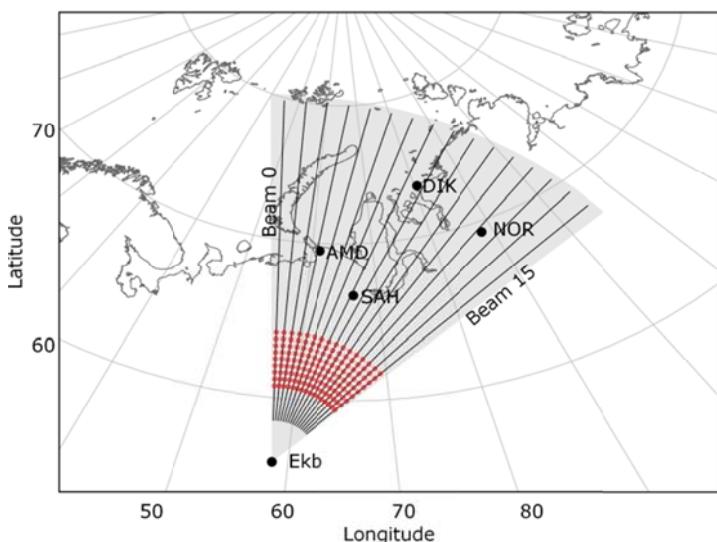


Рис. 68. Схема расположения радара ЕКВ и его сектора обзора, а также станций ВЗ, данные которых используются при проведении коррекции

### Публикация

Oinats A.V., Kutelev K.A., Berngardt O.I., Kurkin V.I. Correction of the Ekaterinburg SuperDARN data mapping using ionospheric vertical sounding // PIERS Proc. July 6–9, 2015. Prague, 2015. P. 2572–2575.

### Реализация алгоритма расчета зон рассеяния сигнала радара SuperDARN на ориентированных неоднородностях ионосферы

Для интерпретации результатов совместных российско–украинских двухпозиционных экспериментов по регистрации сигналов радара ЕКВ использованием когерентного приемного комплекса и остронаправленной фазированной антенной решетки радиотелескопа УТР-2 (Радиоастрономическая обсерватория им. С. Я. Брауде Радиоастрономического института НАНУ, Харьковская обл., Украина) был разработан программный комплекс для поиска зон ракурсного рассеяния радиосигнала на магнитоориентированных ионосферных неоднородностях (МОИН) и проведено моделирование зон ракурсного рассеяния в приложении к данному эксперименту. В случае обратного рассеяния (ЕКВ–МОИН–ЕКВ) эта задача эквивалентна поиску точек на геометрооптическом луче, в которых его волновой вектор ортогонален силовой линии геомагнитного поля (моностatische задача). В случае бистатической задачи (трасса ЕКВ–МОИН–РАО) это эквивалентно

поиску точек, в которых силовая линия геомагнитного поля ортогональна разности волновых векторов падающего и рассеянного полей. В этом случае в коротковолновом диапазоне решение значительно усложняется, так как становится необходимо осуществить пристрелку в каждую точку исследуемого пространства геометрооптических лучей от двух источников (ЕКВ и РАО) и определить, какая из комбинаций геометрооптических лучей ЕКВ–МОИН и РАО–МОИН удовлетворяет условию ракурсного рассеяния. Моделирование распространения луча в регулярной ионосфере, соответствующей условиям проведения эксперимента, проводилось в рамках метода геометрической оптики с коррекцией модельной ионосферы IRI по данным вертикального зондирования. Данная задача характеризуется большой вычислительной сложностью, так как необходимо находить электронную концентрацию и геомагнитное поле в каждой точке большого числа траекторий (более 10 000 для одного направления и одного момента времени). Поэтому моделирование проводилось на 72 процессорах вычислительного кластера Blackford ИНЦ СО РАН.

### **Публикации**

1. Бернгардт О.И., Кутелев К.А., Куркин В.И., Гркович К.В., Ямпольский Ю.М., Кащеев А.С., Кащеев С.Б., Галушко В.Г., Григорьева С.А., Кусонский О.А., Двухпозиционная локация высокоширотных ионосферных неоднородностей с использованием декаметрового радара ЕКВ и радиотелескопа УТР-2: первые результаты // Известия вузов. Радиофизика. 2015. Т. 58, № 6. С. 433–453.
2. Berngardt O.I., Kashcheyev A.S., Kashcheyev S.B., Galushko V.G., Grigorieva S.A., Kusonsky O.A., Kutelev K., Yampolsky Yu.M., Kurkin V.I., Grkovich K.V. Bistatic Sounding of High-Latitude Ionospheric Irregularities Using a Decameter EKB Radar and an UTR-2 Radio Telescope: First Results // Radiophysics and Quantum Electronics. 2015. V. 58, № 6. P. 390–408. DOI:10.1007/s11141-015-9614-1.

### **4.4. Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат**

#### **Исследование изменений эффективности теплообмена в системе океан–атмосфера–суша при различных климатических условиях**

Изучение природы изменений климата является важнейшим направлением в науках о Земле. Основной целью каждого подобного исследования является установление механизмов наблюдаемых изменений основных компонент климатической системы (океана, атмосферы, суши и криосферы). Взаимодействие данных компонент определяет главные особенности климатического режима на планете.

Особое значение в изменении и формировании климата играет взаимодействие между океаном и атмосферой, проявляющееся в обмене теплом и влагой. Благодаря своей высокой теплоемкости, которая в 50 раз превышает теплоемкость атмосферы, океан является гигантским резервуаром энергии. Океан оказывает тепловое воздействие на атмосферу в основном благодаря значительной термической инерционности и преобладанию положительной разности температур вода–воздух. Обратное воздействие атмосферы на океан проявляется главным образом путем ослабления или усиления поверхностных течений через ветровой режим.

Теплообмен океана с атмосферой происходит посредством лучистого, турбулентного потоков тепла (так называемое явное тепло), а также за счет преобразований энергии при фазовых переходах воды (скрытое тепло). Расчет вертикальных турбулентных потоков явного ( $Q_H$ ) и скрытого ( $Q_E$ ) тепла характеризуется следующими соотношениями:  $Q_H = \rho_a c_p C_T U_{10} (t_s - t_a)$ ,  $Q_E = \rho_a L C_E U_{10} (q_s - q_a)$ , где  $\rho_a$  — плотность воздуха,  $c_p$  — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении,  $U_{10}$  — скорость ветра на высоте 10 м,  $C_T$  —

число Сентона,  $C_E$  — число Дальтона,  $L$  — скрытая теплота испарения воды,  $t_s$  и  $t_a$  — температура поверхности и атмосферы,  $q_s$  и  $q_a$  — удельная влажность над поверхностью и удельная влажность воздуха. Скорость ветра, разности температур и влажности между подстилающей поверхностью и атмосферой являются параметрами, определяющими интенсивность, а следовательно, и эффективность теплообмена океана с атмосферой.

На рис. 69 показан временной ход изменений потоков тепла в системе океан–атмосфера с 1948 по 2009 г. В период до 1976 г. наблюдается уменьшение потока тепла в атмосферу, после чего следует его возрастание до середины 90-х гг. (рис. 69, а). В те же самые периоды отмечаются обратные тенденции в изменениях потоков тепла в океан (рис. 69, б).

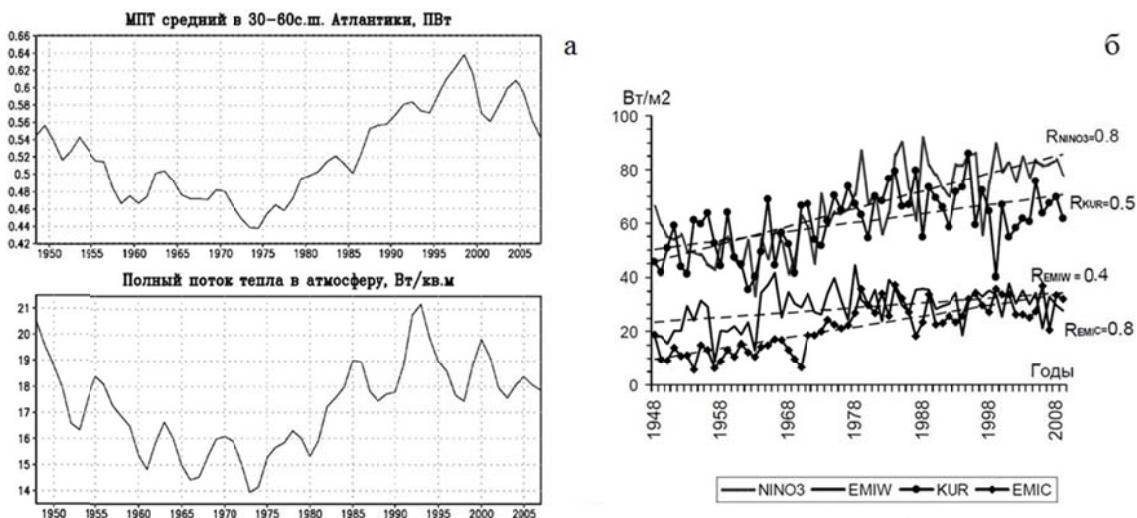


Рис. 69. Временной ход меридионального переноса тепла (МПТ) и полного потока тепла из океана в атмосферу в Атлантике (1948–2009 гг.), усредненных в интервале 30–60° с.ш. (а). Климатические тренды (1948–2009 гг.) и колебания потока тепла  $Q$  (Вт/м<sup>2</sup>) от поверхности океана в его нижележащие слои в восточной (NINO3), западной (EMIW), центральной (EMIC) частях тропических и экваториальной зон Тихого океана, а также в юго–западной области субтропиков (20–30° с.ш., 130–170° в.д.), KUR.

На основе комплексного анализа гидрометеорологических данных (аномалии зональной компоненты ветрового напряжения (ВН), температуры поверхности океана (ТПО) и теплосодержания океана в слое 0–700 м) была установлена взаимосвязь между данными характеристиками. В качестве примера на рис. 70 показано изменение ВН, ТПО и теплосодержания для региона Тихого океана. По данным, приведенным на рис. 70, можно видеть, что при увеличении зональной компоненты ВН происходит понижение ТПО и уменьшение теплосодержания в толще 0–700 м. Интересно отметить, что в изменениях теплосодержания отмечается запаздывание относительно изменений зональной компоненты ветрового напряжения. Отклик теплосодержания на изменение ветрового напряжения происходит с временной задержкой из-за большей теплоемкости океана.

Изменения аномалий зональной компоненты ВН и ТПО от сезона к сезону (W — декабрь, январь, февраль; S — март, апрель, май; S — июнь, июль, август; F — сентябрь, октябрь, ноябрь), представленные на рис. 71, отчетливо показывают переход от периода понижения ТПО к периоду роста. Понижение температуры, в свою очередь, приводит к увеличению плотности вод и более глубокому перемешиванию. После 1988 г. наблюдается ослабление зональной компоненты ВН, что приводит к увеличению теплосодержания и увеличению температуры. Аномальное увеличение западного ветра и сохранение его в течение года приводит к понижению ТПО в восточных районах рассматриваемой области Тихого океана. Восточный ветер обуславливает повышение температуры по всей рассматриваемой области.

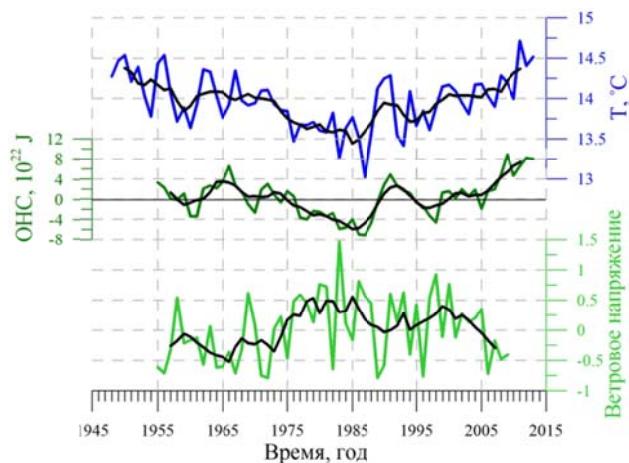


Рис. 70. Среднегодовые значения ТПО (синяя линия), аномалии теплосодержания океана в слое 0–700 м (темно-зеленая линия), аномалии зональной компоненты ветрового напряжения (зеленая линия) в районе Тихого океана ( $30\text{--}50^\circ$  с.ш.,  $160^\circ$  в.д.– $150^\circ$  з.д.). Черная линия – сглаженные по 5 годам значения.

Для изучения пространственных особенностей изменения ветрового напряжения и его влияния на ТПО были построены карты аномалий этих величин для области Тихого океана (рис. 72). Карты наглядно отражают циркуляционные изменения в период перехода от положительных значений аномалий теплосодержания и ТПО (1972–1976 гг.) к периоду отрицательных значений (1977–1981 гг.). По картам видно также, что смена структуры ВН характеризуется пространственной неоднородностью. Так, в период 1972–1976 гг. отмечается поступление на умеренные широты холодных воздушных масс с широт выше  $50^\circ$  с.ш. (рис. 72, а), которые впоследствии распространяются вдоль 45-й параллели северной части Тихого океана, в результате чего наблюдается понижение ТПО в данной области. В это же время в области  $30\text{--}40^\circ$  с.ш.,  $150\text{--}170^\circ$  з.д. отмечается возрастание ТПО, обусловленное притоком теплых воздушных масс с более низких широт (рис. 72, в). Для 1977–1981 гг. картина диаметрально противоположна (рис. 72, б, г): усиленная антициклоническая циркуляция в приповерхностном слое атмосферы приводит к аномальному понижению ТПО в том же районе Тихого океана, где ранее отмечалось повышение температуры. Таким образом, при рассмотрении связи ВН с изменениями ТПО необходимо учитывать не только величину изменения, но и структуру ветрового напряжения.

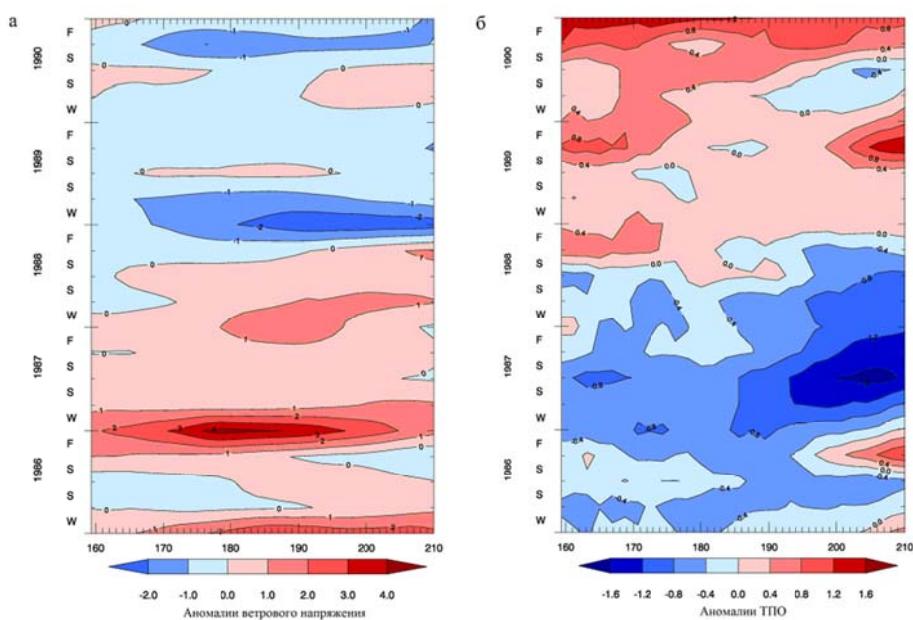


Рис. 71. Аномалии зональной компоненты ветрового напряжения (а) и температура поверхности океана (б) для Тихого океана ( $30\text{--}50^\circ$  с.ш.,  $160^\circ$  в.д.– $150^\circ$  з.д.)

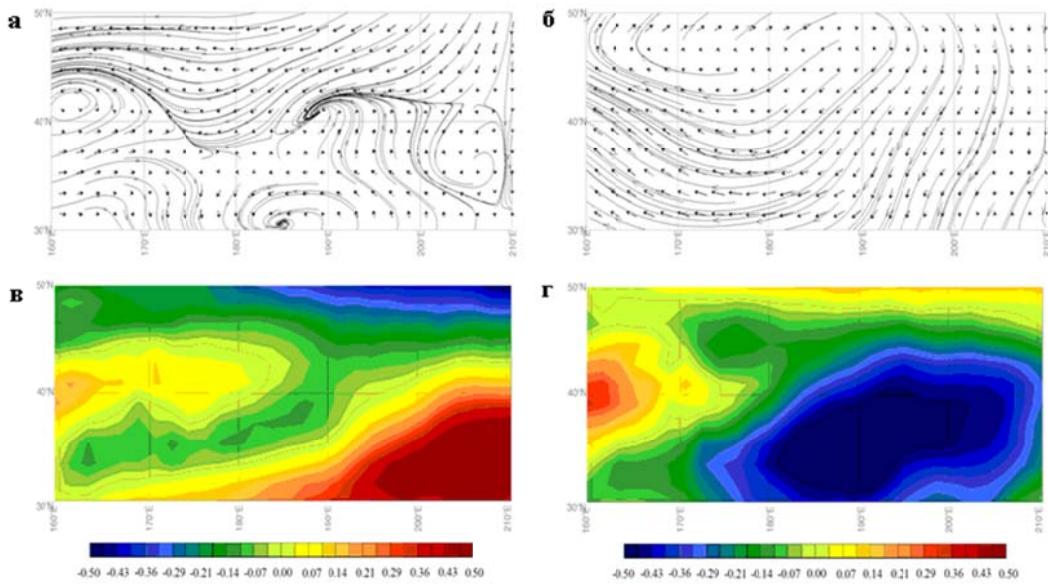


Рис. 72. Аномалии ветрового напряжения (а, б) и ТПО (в, г) в области Тихого океана (30–50° с.ш., 160° в.д.–150° з.д.) для периодов 1972–1976 (а, в) и 1977–1981 гг. (б, г)

### Публикации

1. Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Kirichenko K.E. Main physical processes and mechanisms responsible for the observable climate changes in the 20–21<sup>st</sup> century // Proc. SPIE. 2015. V. 9680. 968057. DOI:10.1117/12.2205740.
2. Белоусова Е.П., Коваленко В.А., Кириченко К.Е. Исследование особенностей влияния ветрового напряжения на температуру поверхности океана // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXI Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2015. С. D329–D332. 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM).
3. Белоусова Е.П., Коваленко В.А., Кириченко К.Е. Исследование особенностей влияния ветрового напряжения на температуру поверхности океана // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XXI Международного симпозиума. Томск: Изд–во ИОА СО РАН, 2015. С. 136.

### Изучение особенностей проявления солнечной активности в термодинамических характеристиках тропосферы Южного полушария

В соответствии с основными положениями разрабатываемой в ИСЗФ СО РАН модели влияния солнечной активности (СА) на тропосферу проведен анализ связи долговременных изменений температуры поверхности океана (ТПО) и геомагнитной активности (ГА) (*aa*-индекс) на основе данных наблюдений. Было установлено, что отклик ТПО на воздействие ГА характеризуется значительной пространственно–временной неоднородностью, носит региональный характер и зависит от типа циркуляции. Особенностью отклика является наличие областей как положительной, так и отрицательной корреляции. Были выявлены районы Мирового океана, в которых изменения ТПО на долговременных масштабах в основном определяются вариациями ГА. Несмотря на это, есть периоды, когда связь между ТПО и ГА нарушается.

В качестве примера на рис. 73 приведен временной ход изменений ТПО, *aa*-индекса и аномалии теплосодержания в районе Индийского океана, где наблюдается максимальное проявление солнечно-геомагнитного влияния на ТПО. Область в Индийском океане является уникальной с точки зрения отклика из-за особенностей физико-географического расположения. Она характеризуется максимальным циклогенезом в Южном полушарии на протяжении всего года и примыкает к изолированной структуре замкнутых поверхностных течений в океане, т. е. в наименьшей степени подвержена изменениям, которые наблюдаются вне этой области.

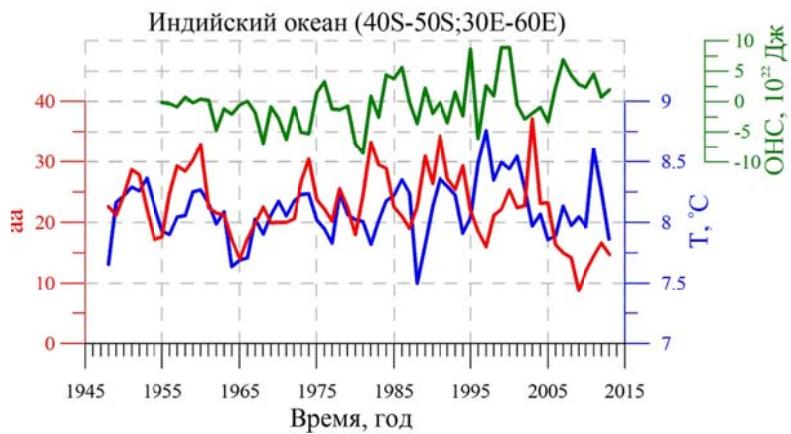


Рис. 73. Среднегодовые значения в районе Индийского океана ТПО (синяя линия), *aa*-индекса (красная линия) и аномалия теплосодержания в слое 0–700 м (ОНС, зеленая линия)

По данным, приведенным на рис. 73, можно видеть, что изменения ТПО коррелируют с вариациями ГА в периоды 1948–1978 и 1988–1994 г., а с 1978 по 1988 г. и с 1995 по 2013 г. наблюдается изменение знака связи между этими величинами. Оказалось, что эти периоды характеризуются значительным увеличением аномалии теплосодержания океана в рассматриваемой области (рис. 73). Для того чтобы оценить возможный вклад ветрового напряжения в изменения ТПО, были построены карты ветрового напряжения для Индийского океана (рис. 74). Расчет аномалии ветрового напряжения производился относительно климатической нормы 1961–1990 гг. для двух периодов: до климатического сдвига (1972–1976 гг.) и после него (1977–1981 гг.). Очевидно, что аномалии теплосодержания в этом районе Индийского океана (рис. 73) значительно возрастают после 1976 г. Данный год является годом смены типа атмосферной циркуляции (климатический сдвиг): до 1976 г. и доминировали ветры восточного направления, а после 1976 г. стало преобладать западного направления.

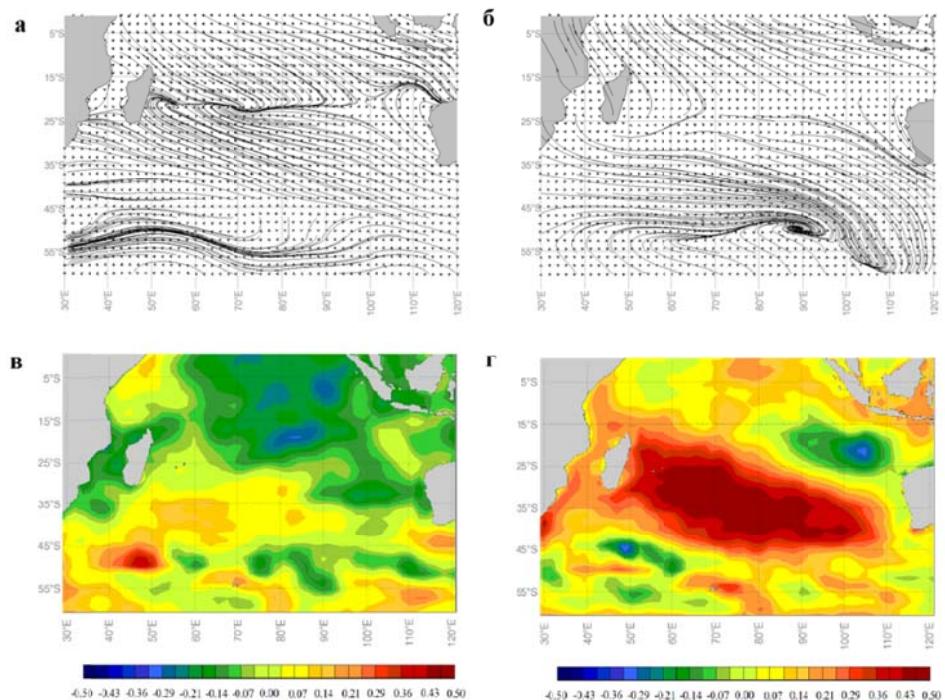


Рис. 74. Карты аномалий ветрового напряжения (а, б) и аномалий ТПО (в, г) для Индийского океана в периоды 1972–1976 гг. (а, в) и 1977–1981 гг. (б, г)

В рассматриваемой области происходит смена направления ветрового напряжения, которое является причиной увеличения изменений теплосодержания океана вследствие переноса вод с более высоких широт, имеющих температуры ниже, чем в рассматриваемой области. Это привело к усилению вертикального перемешивания, аномальному понижению ТПО и, как результат, к изменению знака связи между ТПО и ГА. Рисунок 74 показывает, что в период после климатического сдвига отмечается понижение ТПО в области 40–50° ю.ш., 30–60° в.д. Наибольшее (по площади и значению) понижение ТПО в 1972–1976 гг. (рис. 74, в) наблюдается в районе 0–25° ю.ш., 60–100° в.д., а в 1977–1981 гг. (рис. 74, г) аномально высокие значения ТПО отмечаются в центральной части, ограниченной 50–110° в.д. Как понижение, так и повышение аномалий поверхностной температуры обусловлено изменением направления ветрового напряжения, приводящим к усилению или ослаблению вертикального перемешивания.

Ветровое напряжение в атмосфере необходимо учитывать как при рассмотрении эффективности теплообмена между атмосферой и океаном, так и при изучении связи солнечной активности с погодно-климатическими характеристиками.

### **Публикации**

1. Kirichenko K.E., Belousova E.P., Kovalenko V.A. Wind-stress effect on the relationships between sea surface temperature and geomagnetic activity // Proc. SPIE. 2015. V. 9680. 96805T. DOI: 10.1117/12.2205318.

2. Кириченко К.Е., Коваленко В.А., Белоусова Е.П. Влияние ветрового напряжения на проявление геомагнитной активности в температуре поверхности океана // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXI Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2015. С. D467–DD470. 1 опт. Компакт-диск (CD–ROM).

3. Кириченко К.Е., Коваленко В.А., Белоусова Е.П. Влияние ветрового напряжения на проявление геомагнитной активности в температуре поверхности океана // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XXI Международного симпозиума. Томск: Изд–во ИОА СО РАН, 2015. С. 147.

### **Изучение закономерностей изменения пространственного распределения отклика температуры в тропосфере на геомагнитную активность**

Проведен корреляционный анализ связи теплосодержания различных слоев тропосферы, рассчитанных по данным NCEP/NCAR реанализа, с вариациями солнечной (индекс  $F10.7$ ) и геомагнитной ( $AA$ -индекс) активности в 1950–2007 гг. Обнаружено, что отклик теплосодержания на воздействие солнечной и геомагнитной активности имеет достаточно выраженную пространственную структуру. В большей части тропосферы теплосодержание коррелирует с солнечной и геомагнитной активностью, однако в ряде регионов наблюдается значимая антакорреляция (рис. 75).

Анализ связи теплосодержания тропосферы с солнечной и геомагнитной активностью на различных временных масштабах показал, что проявление изменений солнечной и геомагнитной активности в теплосодержании тропосферы существенно зависит от временного масштаба. На малых временных масштабах изменения солнечной и геомагнитной активности слабо проявляются на фоне мощных собственных вариаций климатической системы. При увеличении временного масштаба роль собственных вариаций уменьшается, именно поэтому изменения солнечной и геомагнитной активности достаточно хорошо проявляются в теплосодержании тропосферы на больших масштабах.



Рис. 75. Пространственная структура коэффициента корреляции между теплосодержанием нижней тропосферы (400–850 гПа) и геомагнитной активностью (сплошные линии — положительная корреляция, штриховые — отрицательная)

Анализ влияния атмосферной циркуляции на связь между изменениями теплосодержания тропосферы и вариациями солнечной и геомагнитной активности показал, что в областях с наибольшей повторяемостью циклонов (области, через которые часто проходят циклоны) связь между теплосодержанием атмосферы и солнечной активностью практически отсутствует. Проявление изменений солнечной и геомагнитной активности в теплосодержании зависит от региона. Теплосодержание большинства областей, так же как и глобальное теплосодержание тропосферы, коррелирует с солнечной и геомагнитной активностью. Однако в некоторых областях нижнего слоя тропосферы (над морем Баффина, пустыней Сахара и Тибетом) наблюдается антикорреляция.

### **Публикации**

1. Молодых С.И. Влияние интегрирующих свойств климатической системы на связь геомагнитной активности с температурой // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXI Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2015. С. D418–D421. 1 опт. компакт–диск (CD–ROM).

2. Molodykh S.I., Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A. The variability of the spatial pattern of surface temperature response on solar and geomagnetic activity // 7 Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere", Sunny Beach, Bulgaria, 1–5 June 2015. Book of Abstracts. 2015. P. 17. <http://ws-sozopol.stil.bas.bg>.

### **Изучение эволюции внетропических циклонов при различных уровнях геомагнитной и солнечной активности**

На основе данных реанализа NCEP/NCAR проведено исследование эволюции вертикального профиля температуры воздушных масс как в теплом, так и в холодном секторах перемещающихся циклонов при разных уровнях геомагнитной возмущенности в минимуме солнечной активности.

Анализ эволюции температурных профилей воздушных масс в спокойных геомагнитных условиях для периодов, в течение которых регистрировалось существование циклона, показал, что при своем перемещении теплая воздушная масса (на высотах до 300 гПа) день за днем охлаждается, а холодная — прогревается, т. е. наблюдается выравнивание температур (рис. 76). На стадии наибольшего развития циклона температурные профили подобны средним многолетним вертикальным профилям температуры воздушных масс.

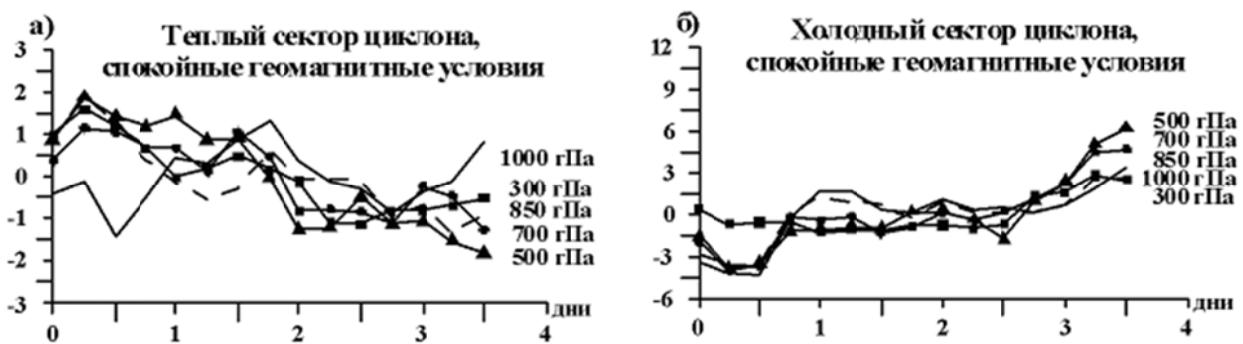


Рис. 76. Изменение вертикального профиля температуры воздушных масс в спокойных геомагнитных условиях в теплом (а) и холодном (б) секторах циклона 25 января 1996 г. Центр циклона располагался около  $56^{\circ}$  ю.ш. и  $20^{\circ}$  з.д.

Во время возмущений наблюдается изменение эволюции вертикального профиля температуры в теплой воздушной массе. В начале геомагнитного возмущения в теплой воздушной массе наблюдается повышение температуры на высотах до 300 гПа, которое во время возмущения почти не изменяется, в отличие от спокойных геомагнитных условий (рис. 77). На высотах выше 300 гПа температура непрерывно понижается. В холодной воздушной массе при возмущенных геомагнитных условиях рост температуры замедляется на высотах ниже 300 гПа и наблюдается прекращение понижения температуры на высотах выше 300 гПа. Вследствие этого температурный контраст между воздушными массами сохраняется более длительное время.

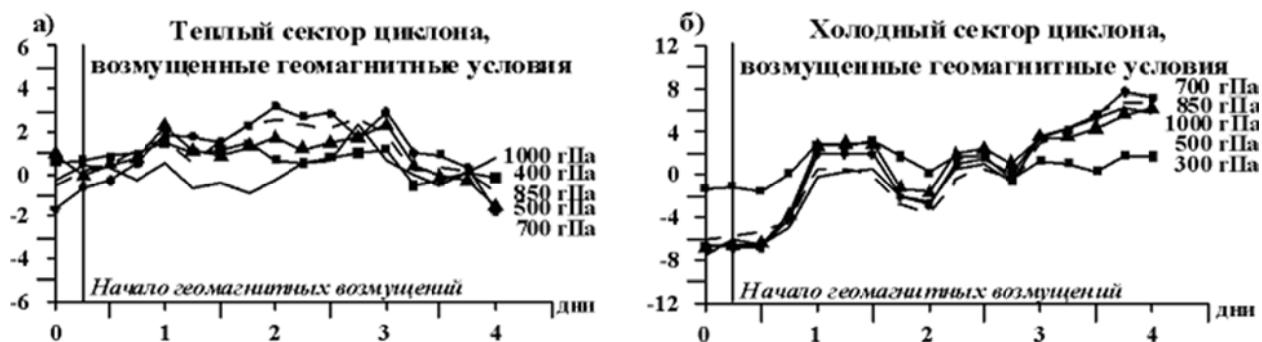


Рис. 77. Изменение вертикального профиля температуры в возмущенных геомагнитных условиях в теплом (а) и холодном (б) секторах циклона 28 января 1996 г. Центр циклона располагался около  $53^{\circ}$  ю.ш. и  $80^{\circ}$  в.д.

### Публикации

1. Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Variations in vertical temperature profile of extra-tropical cyclones under different environmental conditions // Proc. SPIE. 2015 V. 9680. 96806D. DOI: 10.1117/12.2205668.
2. Караканян А.А., Молодых С.И. Изменение вертикального профиля температуры внетропических циклонов при разных внешних условиях // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXI Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2015. С. D442–D445. 1 опт. Компакт-диск (CD-ROM).
3. Караканян А.А., Молодых С.И. Оценка эволюции воздушных масс при разных геомагнитных условиях // Труды XIX Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика–2015». СПб.: ГАО РАН, 2015. С. 193–196.

4. Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Variations of the vertical temperature profile of extratropical cyclones in the solar activity minima // 7 Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere", Sunny Beach, Bulgaria, 1–5 June 2015. Book of Abstracts. 2015. P. 15. <http://ws-sozopol.stil.bas.bg>.

5. Караканян А.А., Молодых С.И. Изменение вертикального профиля температуры внетропических циклонов в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» (Иркутск, 14–18 сентября 2015 г.): Тезисы докладов. Иркутск, 2015. С. 94.

**Исследование связи внезапных стратосферных потеплений (ВСП) с эпизодами Madden–Julian oscillation (MJO), стационарными волнами в тропосфере и стратосфере, эпизодами блокирования. Изучение роли крутильных колебаний в генерации ВСП и MJO**

Продолжены исследования механизмов развития внезапных стратосферных потеплений и долговременных изменений циркуляции зимней стратосферы. На стратосферу оказывают влияние как внешние космические факторы, так и динамические процессы в нижней атмосфере. Механизмы влияния тех, и других процессов пока еще мало понятны; их исследования представляют большой интерес как для физики атмосферы, так и для солнечно-земной физики.

Ранее было установлено, что на развитие внезапных стратосферных потеплений (ВСП) влияют несколько факторов — разрушение блокингов, усиление орографических стационарных волн, распространение из тропиков бегущих возмущений. Особый интерес вызывают возмущения тропического происхождения. Для их выделения была использована техника расчета «крутильных колебаний», которая показала, что вариации температуры в полярной области с заблаговременностью до 10 сут предшествуют вариации температуры в тропической стратосфере.

На рис. 78 приведены: диаграмма Ховмеллера, показывающая в координатах широта–время дрейф по широте вариаций температуры зимой 1997–1998 гг., осредненных в интервале 60–150° в.д.; распределения тепловых потоков в период ВСП (1–5 января 1998 г.) и в спокойный период (10–15 января 1998 г.). Потоки тепла показывают направление перемещения возмущений, начинающихся в низких широтах. Важное значение для распространения возмущений в направлении полюса имеет деформация линий тока Полярного вихря, обусловленная развитием в северной части Тихого океана антициклонического вихря, причиной которого являются либо орографические планетарные волны от горного массива Гималаи–Тибет, либо нелинейные динамические процессы в тропосфере.

Мы предполагаем, что процесс развития ВСП включает два этапа. Первым этапом является формирование в полярной стратосфере двух локализованных крупномасштабных образований — Полярного вихря и антициклона над севером Азии и Тихого океана. Однако антициклон является необходимым, но недостаточным условием развития ВСП. Между Полярным вихрем и антициклоном формируется струйное течение, выполняющее роль волновода или канала, по которому из низких широт распространяются возмущения, переносящие в район Полярного вихря тепло и завихренность из низких широт. Эти возмущения являются причиной разрушения Полярного вихря и начала ВСП.

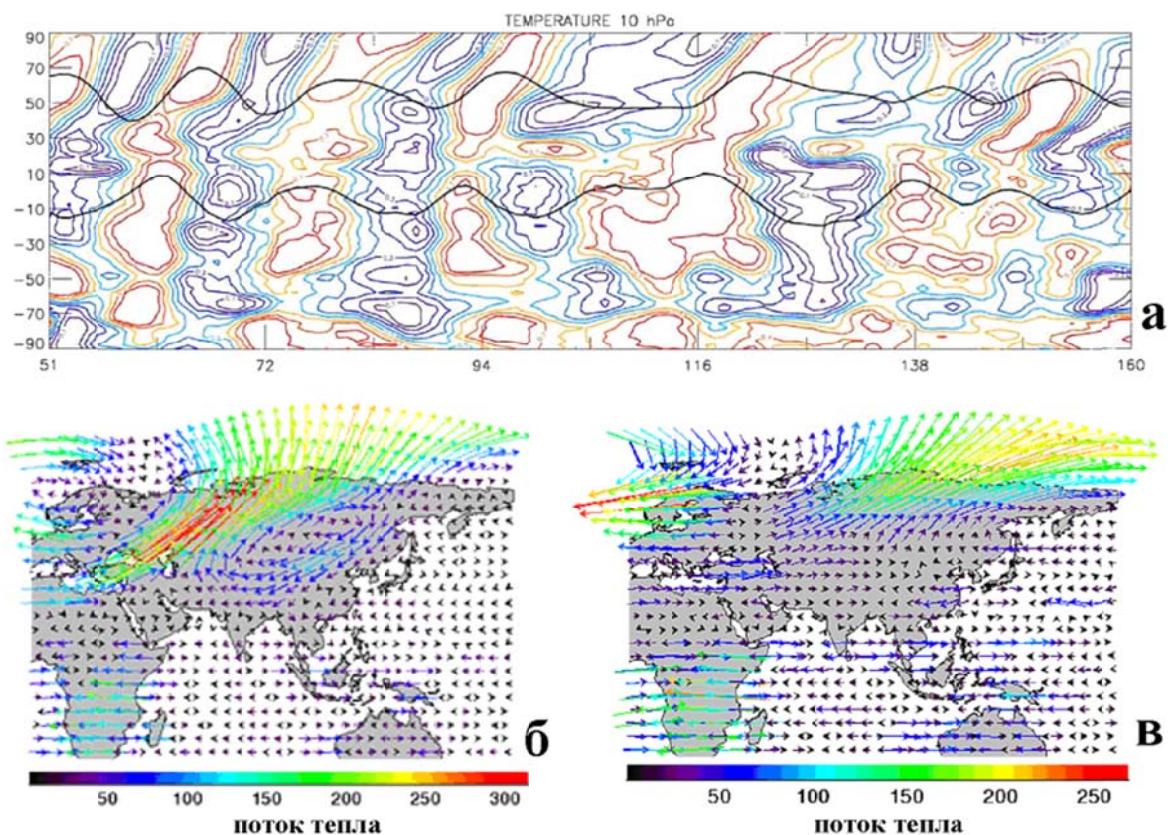


Рис. 78. Диаграмма Ховмэллера распространения возмущений температуры на уровне 10 гПа зимой 1997–1998 гг. (а). Красным и синим цветом выделены положительные и отрицательные аномалии температуры соответственно. На диаграмму нанесены графики вариаций температуры в полярной области и тропиках (в отн. ед.). Тепловые потоки во время ВСП (б) и в спокойный период (в)

### Публикация

Кочеткова О.С., Михалев А.В., Мордвинов В.И., Татарников А.В. Динамика атмосферы и сейсмическая активность в Байкальской рифтовой зоне // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 55–61.

### Характеристики оптического излучения верхней атмосферы в текущем солнечном цикле

В 2015 г. продолжались регулярные наблюдения собственного излучения верхней атмосферы Земли в основных эмиссионных линиях атомарного кислорода [OI] 557.7 и 630.0 нм, дуплета натрия [NaI] 589.0–589.6 нм с помощью патрульного спектрометра САТИ-1М с низким спектральным разрешением (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr>) и интегрального излучения в RGB-цветовых каналах с помощью камеры ФИЛИН-1Ц (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/color>). Основной целью этих наблюдений является исследование вариабельности характеристик верхней атмосферы на различных временных масштабах, включая сезонные, межгодовые, многолетние вариации, а также изучение ее зависимости от солнечной активности.

На рис. 79 приводятся результаты регистрации в 2015 г. среднемесячных значений интенсивности эмиссии атомарного кислорода в линии 557.7 нм, высвечивающейся на высотах 85–115 км, в сопоставлении с предшествующими годами.

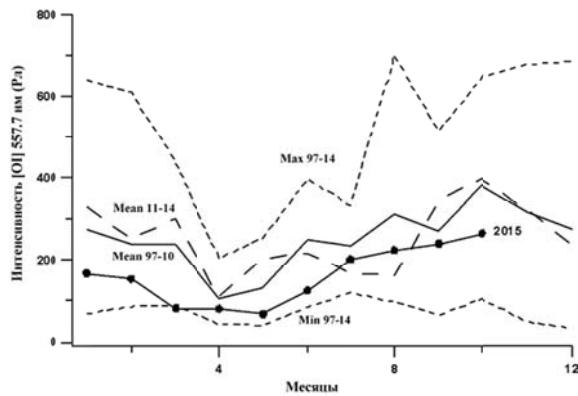


Рис. 79. Среднемесячные значения интенсивности эмиссии [OI] 557.7 нм по данным регистрации в ГФО ИСЗФ СО РАН в 2015 г. (кружки, толстая сплошная линия). Штриховыми линиями показаны максимальные, средние и минимальные значения интенсивности за 1997–2010 гг. (верхняя, средние и нижняя кривые соответственно).

Среди особенностей сезонного хода эмиссии атомарного кислорода [OI] 557.7 нм в 2015 г. можно отметить отсутствие летнего максимума и более низкие среднемесячные значения по сравнению со средними многолетними значениями. Полученный сезонный ход этой эмиссии, а также эмиссии дуплета натрия [NaI] 589.0–589.6 нм использовался при анализе поведения мезосферных эмиссий после падения Челябинского болида 15 февраля 2013 г.

Сопоставление вариаций среднемесячных значений эмиссии 557.7 нм и индекса солнечной активности  $F10.7$  позволило получить коэффициенты корреляций между этими величинами для текущего солнечного цикла от  $\sim 0.3$  до  $\sim 0.5$  в зависимости от длительности выбираемых временных интервалов. Это находится в достаточно хорошем согласии с результатами, полученными для предыдущих солнечных циклов другими исследователями.

Был выполнен анализ фотометрических и спектральных характеристик среднеширотных сияний, наблюдавшихся в регионе Восточной Сибири во время магнитных бурь 27 февраля 2014 г. и 17 марта 2015 г. Во время указанных среднеширотных сияний в северной части небосвода зарегистрировано увеличение яркости ночной атмосферы. Для бури 27 февраля 2014 г. сигнал в R-канале цветной камеры ФИЛИН-1Ц увеличился в 3.5 раза, а для бури 17 марта 2015 г. — в 10 раз и в 3.5 раза в R- и G-каналах камеры соответственно по сравнению с невозмущенными условиями. Анализ данных спектральных наблюдений, полученных с помощью спектрометра САТИ-1М, позволил предположить, что увеличения сигналов в R- и G-каналах цветной камеры ФИЛИН-1Ц обусловлены увеличением интенсивностей авроральных эмиссий атомарного кислорода [OI] 630 нм и [OI] 557.7 нм, соответственно. В результате анализа данных наблюдений было выявлено нетипичное для среднеширотных сияний поведение интенсивности эмиссии [OI] 630 нм во время главной фазы магнитной бури 17 марта 2015 г.: резкие всплески интенсивности излучения, превышающие среднее значение спокойной атмосферы до 10 раз, с длительностями, характерными для суббуровой активности; отсутствие зависимости интенсивности эмиссии [OI] 630 нм от  $D_{st}$ -индекса в течение ночи.

### Публикации

1. Михалев А.В., Подлесный С.В., Костылева Н.В., Комарова Е.С. Оптические характеристики ночного неба в Восточной Сибири после падения Челябинского метеорита. II. Собственное излучение верхней атмосферы Земли // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 08. С. 718–724.
2. Подлесный С.В., Михалев А.В. Спектрофотометрия среднеширотных сияний, наблюдавшихся в регионе Восточной Сибири, во время магнитных бурь 27 февраля 2014 г. и 17 марта 2015 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике (Иркутск, 14–18 сентября 2015 г.). Труды XIV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 2015. С. 175–177.

3. Подлесный С.В., Михалев А.В. Спектрофотометрия среднеширотных сияний, наблюдавшихся в регионе Восточной Сибири, во время магнитных бурь 27 февраля 2014 г. и 17 марта 2015 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» (Иркутск, 14–18 сентября 2015 г.): Тезисы докладов. Иркутск, 2015. С. 57–58.

### Анализ изменчивости ионосферы в спокойных геомагнитных условиях по данным вертикального и наклонного зондирования

*Параметры изменчивости ионосферы по данным наклонного зондирования.* На основе данных наклонного зондирования, полученных в течение 2005–2013 гг. на трассах Магадан–Иркутск, Хабаровск–Иркутск и Норильск–Хабаровск, проведен статистический анализ вариаций максимальных наблюдавшихся частот (МНЧ) односкачкового мода. Средние точки радиотрасс имеют координаты 58.5° N, 125.8° E; 51.25° N, 119.6° E; 60.9° N, 98° E соответственно. Интервал зондирования составлял 5 и 15 мин. МНЧ односкачкового мода формируется областью ионосферы вблизи средней точки трассы, поэтому по вариациям этого параметра можно судить об изменчивости ионосферы в этой области. Из всего объема данных были выбраны значения, зарегистрированные в спокойных геомагнитных условиях (планетарный индекс  $ap < 9$ ) и относящиеся к дневным (11–14) и ночных (23–03) часам местного времени (LT). Для этих значений рассчитывались медианные МНЧ. Согласно ранее проведенным исследованиям [Forbes et al., J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2000. 62. 685–693; Деминов и др., Геомагнетизм и аэрономия. 2011. 51(3). 352–359], в параметрах ионосферных характеристик присутствуют кратковременные вариации с временными масштабами от нескольких минут до 1.5–2 ч и долговременные изменения, связанные с прохождением планетарных волн с периодами до нескольких суток. Поэтому изменчивость вариаций МНЧ оценивалась по абсолютным и относительным отклонениям текущих значений от их медианных величин ( $\delta_{im}$ ) текущих значений от усредненных за два часа ( $\delta_{io}$ ) и усредненных значений от медианы ( $\delta_{om}$ ), и рассчитывались их среднеквадратичные отклонения (СКО).

Анализ показал, что среднемесячные СКО изменчивости МНЧ односкачкового мода на всех трассах незначительно отличаются друг от друга. СКО относительных отклонений текущих значений от медианы в зависимости от периода наблюдений составляет в дневные часы 4–8 %, в ночные часы 9–15 %. На рис. 80 приведены распределения (нормированные на максимальные величины) относительных отклонений  $\delta_{im}$ ,  $\delta_{io}$ ,  $\delta_{om}$  для дневных и ночных часов периода зимнего и летнего солнцестояния на трассе Магадан–Иркутск.

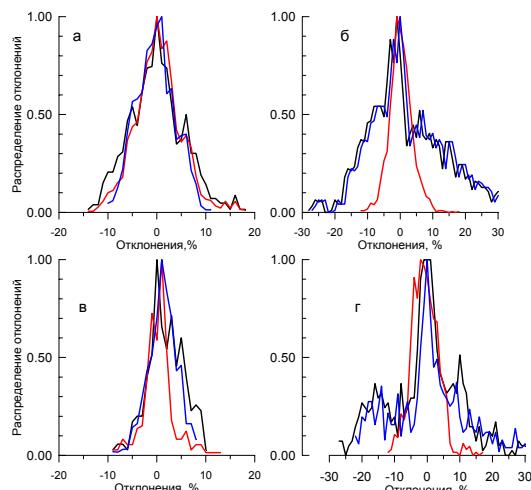


Рис. 80. Распределение относительных отклонений на трассе Магадан–Иркутск для зимы (а — день, б — ночь) и лета (в — день, г — ночь): черная линия — отклонения текущих величин от медианы, красная линия — отклонения измеренных значений от усредненных за два часа, синяя линия — отклонения усредненных величин от медианы.

Видно, что основной вклад в дневные вариации изменчивости вносят как короткопериодные вариации, так и вариации ото дня ко дню. Вочные часы изменчивость в основном обусловлена отклонениями усредненных величин от медианы, т. е. длиннопериодными вариациями. Распределение отклонений имеет четко выраженный сезонный ход: зимой отклонения больше, чем летом. Следует отметить, что в дневные часы среднемесячные величины СКО незначительно различаются на всех трех трассах, вочные часы они больше на трассе Норильск–Иркутск (табл. 6).

Таблица 6. Усредненные значения СКО по сезонам для трех трасс

Сезон	Отклонения текущих МНЧ от медианы, $\delta_{im}$ , %		Отклонения текущих МНЧ от средних значений, $\delta_{io}$ , %		Отклонения средних значений от медианы, $\delta_{im}$ , %	
	День	Ночь	День	Ночь	День	Ночь
Трасса Магадан–Иркутск						
Зима	5.7	12.2	3.63	3.49	4.9	11.3
Лето	5.69	10.65	2.66	4.05	4.88	10.02
Равноденствие	7.44	11.9	2.58	3.8	6.84	10.5
Трасса Хабаровск–Иркутск						
Зима	5.82	11.2	3.67	3.77	5.1	10.8
Лето	6.01	13.88	2.86	4.95	5.2	12.94
Равноденствие	7.83	12.46	3.64	4.25	7.15	11.94
Трасса Норильск–Иркутск						
Зима	6.69	14.53	3.54	4.27	5.85	13.64
Лето	6.06	10.19	3.1	4.63	4.55	9.65
Равноденствие	6.83	9.16	2.9	3.55	5.9	8.35

*Параметры изменчивости ионосферы по данным вертикального зондирования.* На основе данных вертикального зондирования, полученных на разных широтах в годы низкой солнечной активности (2006–2009 гг.), выполнен анализ появления условия G на ионограммах. Это условие регистрируется тогда, когда концентрация на высоте слоя F1 (140–180 км) становится выше концентрации в слое F2. Традиционно появление условия G связывается с развитием отрицательной фазы магнитной бури, во время которой в составе термосферы увеличивается относительное содержание молекул азота и кислорода. Анализ показал, что в годы очень низкой солнечной активности в спокойных геомагнитных условиях на средних широтах (Иркутск) условие G непрерывно регистрировалось в течение 1–2 ч, в отдельных случаях — до 4–5 ч. Часто регистрация условия G чередовалась с регистрацией параметров слоя F2 с интервалами от 1–1.5 часа. В высоких широтах (Норильск) условие G регистрируется гораздо чаще. Летом (май–июль 2008 г.) оно регистрировалось почти ежедневно в течение 4–5 ч. Проведенные расчеты электронной концентрации с учетом коррекции термосферных параметров согласно спутниковым данным [Emmert et al., Geophys. Res. Lett. 2010. 37. L12102] показали хорошее согласие с данными дигизондов (рис. 81).

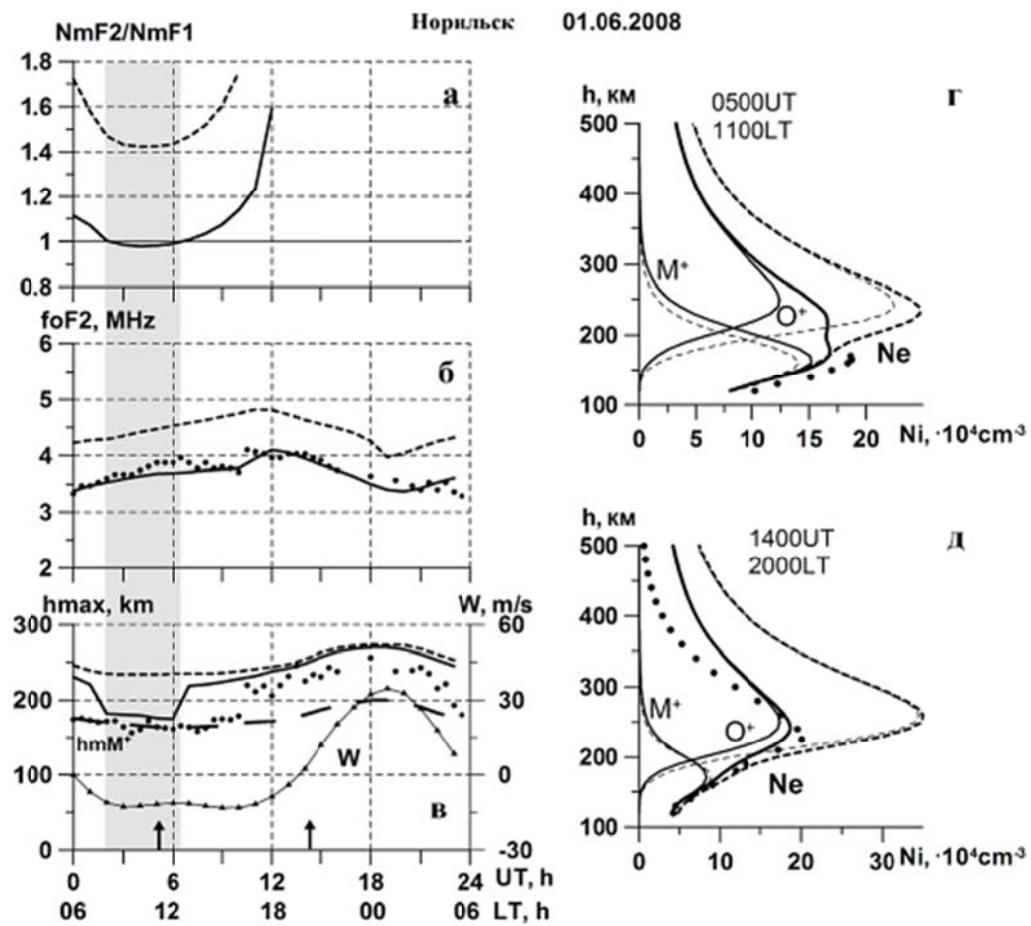


Рис. 81. Вариации отношения  $N_{\max}F2/N_{\max}F1$  (а), критических частот  $f_0F2$  (б), и высоты максимума слоя (в): сплошная линия — расчеты с коррекцией атмосферных параметров, штриховая линия — без коррекции, точки — экспериментальные данные. Толстая штриховая линия и тонкая линия с точками показывают изменение вертикального дрейфа  $W$ , рассчитанного без и с коррекцией атмосферных параметров. Высотные профили молекулярных ионов ( $M^+$ ), ионов кислорода ( $O^+$ ) и электронной концентрации  $N_e$ , рассчитанные для двух моментов времени, когда условие G регистрируется (г) и когда оно отсутствует (д). Эти моменты времени отмечены стрелками на левой панели. Затененная область отмечает интервал регистрации условия G

Таким образом, анализ ионосферных данных и результатов моделирования позволил сделать вывод о том, что появление условия G в спокойных геомагнитных условиях на средних и субавроральных широтах в годы минимума солнечной активности (2008–2009 гг.) обусловлено пониженным уровнем ультрафиолетового излучения относительно предыдущего солнечного минимума и аномально низкой плотностью термосферы. Интервалы чередования регистрации условия G с параметрами слоя F2 указывают на важность воздействия волновых процессов в ионосфере.

На основе часовых данных ионосферной ст. «Иркутск» проведен анализ изменчивости концентрации в максимуме F2-слоя ( $N_m$ ) в зависимости от солнечной и геомагнитной активности для трех циклов солнечной активности для полуденных и полуночных часов. В качестве характеристик изменчивости использованы стандартное отклонение  $\sigma(x)$  флюктуаций  $N_m$  относительно спокойного уровня ( $x = (N_m/N_{m0} - 1) \cdot 100 \%$ ) и средний сдвиг этих флюктуаций  $x_{ave}$ . Величина  $x_{ave}$  характеризует систематическое изменение электронной концентрации в максимуме слоя ионосферы. Знак этого изменения зависит от сезона. Получено, что изменчивость  $N_m$  слабо зависит от уровня солнечной активности, в то время как зависимости изменчивости  $N_m$  от геомагнитной активности, времени суток и сезона являются основными (табл. 7, 8).

Таблица 7. Стандартное отклонение  $\sigma(x)$  и средний сдвиг  $x_{\text{mid}}$  флюктуаций  $N_m$  относительно спокойного уровня над ст. «Иркутск» при низкой геомагнитной активности ( $ap(\tau) < 9$ ) в полдень (LT=12) и полночь (LT=24) для трех сезонов (зима, равноденствие, лето) при низкой ( $F < 100$ ) и высокой ( $F > 170$ ) солнечной активности

Сезон	LT=12				LT=24			
	$F < 100$		$F > 170$		$F < 100$		$F > 170$	
	$\sigma(x)$ , %	$x_{\text{mid}}$ , %						
Зима	18.8	-0.9	15.1	1.2	31.1	-2.4	22.9	-6.2
Равноденствие	16.2	3.0	15.6	1.7	21.2	-1.8	15.1	2.9
Лето	14.4	-1.6	18.5	-4.2	18.8	0.6	11.5	0.3

Таблица 8. Стандартное отклонение  $\sigma(x)$  и средний сдвиг  $x_{\text{mid}}$  флюктуаций  $N_m$  относительно спокойного уровня над ст. «Иркутск» в полдень (LT=12) и полночь (LT=24) при низкой ( $ap(\tau) < 9$ ) и высокой ( $ap(\tau) > 27$ ) геомагнитной активности для трех сезонов (зима, равноденствие, лето)

Сезон	LT=12				LT = 24			
	$ap(\tau) < 9$		$ap(\tau) > 27$		$ap(\tau) < 9$		$ap(\tau) > 27$	
	$\sigma(x)$ , %	$x_{\text{mid}}$ , %						
Зима	17.5	-1.2	27.9	6.4	28.0	-3.1	40.6	3.00
Равноденствие	15.8	2.7	30.0	-18.4	18.4	-0.2	28.3	-23.7
Лето	16.3	-2.4	24.8	-28.9	16.3	0.7	21.4	-30.0

### Публикации

1. Polekh N.M., Romanova E.B., Ratovsky K.G., Shi J.K., Wang X., Wang G.J. Studying the  $G$  condition occurrence in different latitudes under solar minimum: observation and modeling // J. Atmos. Solar Terr. Phys. 2015. V. 130–131. P. 132–141.

2. Деминов М.Г., Деминова Г.Ф., Жеребцов Г.А., Полех Н.М. Свойства изменчивости концентрации максимума F2-слоя над Иркутском при разных уровнях солнечной активности // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 56–62.

3. Kurkin V., Polekh N., Deminov M., Ivanova V. Variability of the ionosphere over Eastern Siberia, according to the oblique-incidence sounding data // 26th IUGG General Assembly, June 22 – July 2, 2015, Prague. Abstract. 2015. A12p–159.

### Сопоставление локальных эмпирических моделей регулярных изменений ионосферных параметров, созданных на основе данных, полученных в различных солнечных циклах

Проведено сопоставление локальных эмпирических моделей регулярных изменений ионосферных параметров, созданных на основе данных Иркутского дигизонда, полученных в 23-м (2003–2008 гг.) и 24-м (2009–2014 гг.) солнечных циклах. Осуществлена оценка вклада солнечной и геомагнитной активности в регулярные вариации ионосферных параметров. Указанные периоды 23-го и 24-го цикла характеризуются приблизительно одинаковыми диапазонами изменения индекса солнечной активности  $F10.7$  и существенно разными диапазонами изменения индекса геомагнитной активности  $A_p$  (рис. 82).

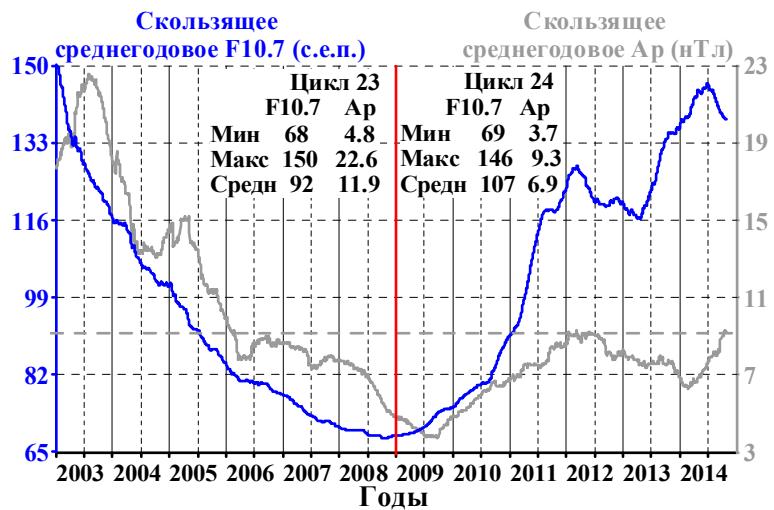


Рис. 82. Вариации индексов солнечной и геомагнитной активности в 23-м (2003–2008 гг.) и 24-м (2009–2014 гг.) солнечных циклах

Локальная эмпирическая модель представляет собой суточно-сезонные вариации ионосферного параметра в минимуме солнечной активности ( $F10.7=70$  с.е.п.) и суточно-сезонные вариации скорости роста ионосферного параметра в зависимости от индекса  $F10.7$ . Параметры модели рассчитываются методом линейной регрессии ионосферного параметра на индекс  $F10.7$ . На рис. 83 показаны суточно-сезонные вариации скорости роста максимума электронной концентрации  $N_mF2$  в зависимости от индекса  $F10.7$  ( $dN_mF2/dF10.7$ ), полученные для 23-го и 24-го цикла. Видно, что  $dN_mF2/dF10.7$  в 24-м цикле выше, чем в 23-м, за исключением дневного и вечернего периода в зимнее время. Таким образом, возрастание геомагнитной активности уменьшает скорость роста  $N_mF2$  с возрастанием солнечной активности во все сезоны за исключением зимы.

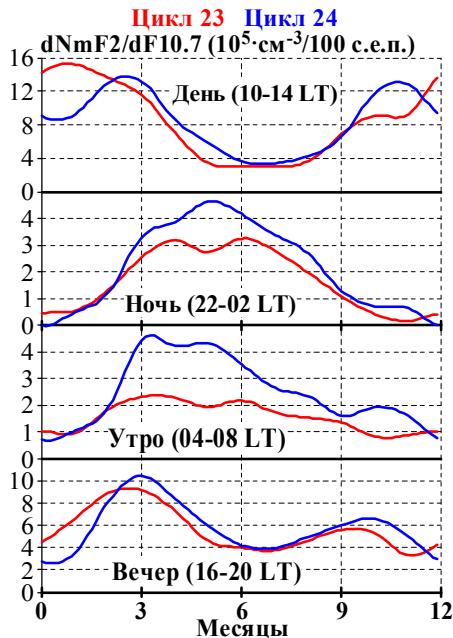


Рис. 83. Суточно-сезонные вариации скорости роста  $N_mF2$  с индексом  $F10.7$  ( $dN_mF2/dF10.7$ ). Месяцы отсчитываются от зимнего солнцестояния

Полученный результат согласуется с концепцией суточно-сезонной зависимости ионосферного отклика на геомагнитные бури: в зимнее время (днем и вечером) геомагнитная буря приводит преимущественно к положительным эффектам (возрастание  $N_mF2$ ),

тогда как в остальное время – преимущественно к отрицательным (уменьшение  $N_m F2$ ). Из проведенных исследований следуют два важных вывода.

1. Разработанная концепция ионосферного отклика на геомагнитные бури может быть расширена относительно влияния усредненной геомагнитной активности на регулярные изменения ионосферных параметров.

2. При создании локальных эмпирических моделей необходимо учитывать зависимость ионосферных параметров не только от солнечной активности, но и от геомагнитной.

### **Публикация**

Ratovsky K. Estimation of solar and geomagnetic activity contributions to solar cycle variations of ionospheric characteristics // 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly, June 22 – July 2, 2015, Prague, Czech Republic: Abstracts. 2015. IUGG-2609.

### **Исследование газового состава в системе термосфера–ионосфера в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях**

В отчетный период для ионосферной станции «Норильск» получены отношения  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  на высотах ниже максимума слоя F1 ионосферы в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях в разные сезоны последнего минимума солнечной активности 2007–2009 гг. Показано, что отношение  $[O]/[N_2]$  максимально зимой и минимально летом. При движении от 2007 к 2009 г. в осенний период в спокойных условиях  $[O]/[N_2]$  увеличивается на 20 %, в возмущенных – на 15 % (табл. 9, рис. 84). Возможная причина осеннего возрастания – сезонная перестройка циркуляции термосферного ветра в равноденственний период. Полученные оценки  $[O]/[N_2]$  хорошо согласуются с измерениями по GUVI в весенние и летние сезоны, но дают заниженные значения зимой и осенью. По-видимому, использованная нами модель термосферы не всегда корректно описывает газовый состав над Норильском. Наибольшие значения отношения  $[O_2]/[O]$  наблюдаются зимой, минимальные – осенью. Во время геомагнитных возмущений  $[O_2]/[O]$  возрастает во все сезоны. В спокойных условиях значения  $[O_2]/[O]$  увеличиваются при движении от 2007 к 2009 г. Это характерно и для возмущенных условий летом и осенью.

Таблица 9. Средние отношения  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  на станции Норильск в возмущенных (вzm.) и спокойных (спок.) геомагнитных условиях в годы минимума солнечной активности (2007–2009 гг.)

Годы	F10.7	$[O]/[N_2]$							
		зима		весна		лето		осень	
		вzm.	спок.	вzm.	спок.	вzm.	спок.	вzm.	спок.
2007	74	0.232	0.250	0.189	0.195	0.173	0.189	0.172	0.183
2008	69	0.223	0.231	0.170	0.190	0.165	0.178	0.183	0.199
2009	71	0.221	0.246	0.186	0.209	0.180	0.194	0.203	0.231
$[O_2]/[O]$									
2007	74	0.718	0.577	0.530	0.488	0.556	0.454	0.439	0.418
2008	69	0.668	0.590	0.541	0.495	0.598	0.522	0.531	0.454
2009	71	0.690	0.607	0.537	0.522	0.651	0.570	0.621	0.467

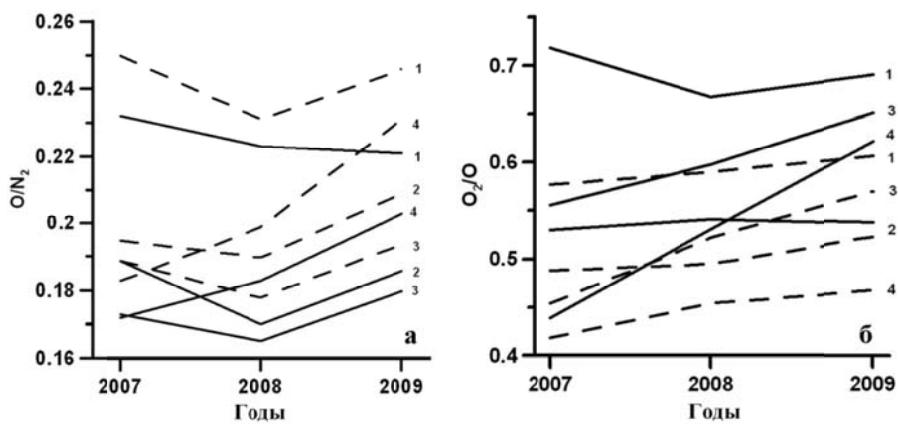


Рис. 84. Сезонные изменения средних отношений  $[O]/[N_2]$  (а) и  $[O_2]/[O]$  (б) на станции «Норильск» в спокойных условиях (штриховые линии) и во время возмущений (сплошные линии). Сезоны обозначены цифрами: 1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень

По данным ионосферной станции «Иркутск» получены долговременные изменения средних отношений  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  за период 2003–2013 гг. на высотах ниже максимума слоя F1 в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях разных сезонов. Обнаружено, что величины  $[O_2]/[O]$  в спокойных и возмущенных условиях летних сезонов являются наибольшими в годы длительного минимума солнечной активности (табл. 10).

Отношение  $[O_2]/[O]$  в спокойных условиях летом в годы минимума возрастает на 25 % от значений 2003 г. Во время возмущений значения  $[O_2]/[O]$  увеличиваются во все сезоны по всему периоду (рис. 85). Отношение  $[O]/[N_2]$  имеет самые низкие значения летом в спокойных и в возмущенных условиях. Зимой в спокойных условиях значения  $[O]/[N_2]$  невелики. Во время возмущений средняя величина  $[O]/[N_2]$  уменьшается во все сезоны для всего периода наблюдений. В спокойных условиях во все сезоны к 2013 г. значения  $[O]/[N_2]$  изменились на 5–7 % по сравнению с 2003 г. Во время возмущений зимой к 2013 г. средние  $[O]/[N_2]$  увеличились на 35 %, летом — на 17 %. В остальные сезоны вариации для обоих отношений не превышают 15 %. Сравнение полученных оценок  $[O]/[N_2]$  со значениями на основе измерений GUVI показывает достаточно хорошее согласие для отдельных сезонов.

Таблица 10. Средние отношения  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  на станции Иркутск во время геомагнитных возмущений (возм.) и в спокойные дни (спок.).

Год	F10.7	$[O]/[N_2]$							
		Зима		Весна		Лето		Осень	
		возм.	спок.	возм.	спок.	возм.	спок.	возм.	спок.
2003	128	0.195	0.329	0.226	0.232	0.164	0.191	0.252	0.270
2004	106	0.227	0.295	0.248	0.245	0.160	0.199	0.247	0.259
2005	98	0.187	0.277	0.236	0.238	0.176	0.197	0.248	0.276
2006	80	0.208	0.278	0.227	0.243	0.189	0.204	0.250	0.267
2007	74	0.208	0.290	0.235	0.240	0.198	0.208	0.220	0.244
2008	69	0.250	0.277	0.231	0.238	0.182	0.196	0.246	0.257
2009	71	0.256	0.266	0.212	0.229	0.184	0.200	0.251	0.260
2010	80	0.267	0.289	0.235	0.260	0.192	0.207	0.255	0.263
2011	113	0.260	0.278	0.224	0.254	0.193	0.206	0.229	0.253
2012	120	0.290	0.311	0.253	0.278	0.180	0.193	0.238	0.270
2013	123	0.307	0.312	0.241	0.246	0.197	0.205	0.236	0.270

		[O <sub>2</sub> ]/[O]									
2003	128	0.897	0.423	0.528	0.466	0.805	0.523	0.504	0.442		
2004	106	0.816	0.499	0.517	0.501	0.734	0.509	0.507	0.425		
2005	98	0.755	0.465	0.604	0.535	0.804	0.504	0.490	0.401		
2006	80	0.693	0.448	0.602	0.520	0.871	0.603	0.492	0.434		
2007	74	0.479	0.454	0.547	0.500	0.638	0.665	0.506	0.456		
2008	69	0.501	0.452	0.568	0.504	0.597	0.594	0.503	0.463		
2009	71	0.476	0.455	0.525	0.499	0.640	0.565	0.380	0.372		
2010	80	0.444	0.424	0.507	0.502	0.635	0.538	0.425	0.356		
2011	113	0.463	0.440	0.512	0.474	0.551	0.505	0.382	0.341		
2012	120	0.428	0.395	0.511	0.496	0.519	0.498	0.477	0.405		
2013	123	0.390	0.414	0.497	0.471	0.556	0.514	0.436	0.400		

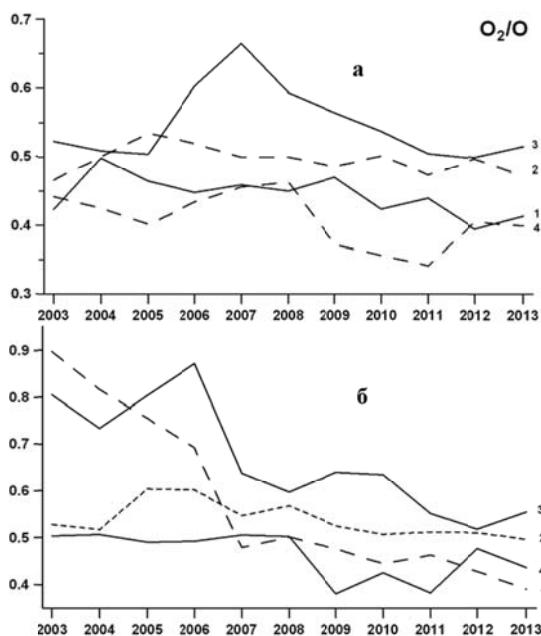


Рис. 85. Долговременные изменения средних значений [O<sub>2</sub>]/[O] в спокойных (а) и возмущенных (б) условиях для разных сезонов: 1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень

### Публикации

1. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Долговременные изменения в нейтральном газовом составе термосферы // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXI Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2015. 1 опт. компакт-диск (CD-ROM). С. 320–324.
2. Яковлева О.Е., Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М. Основные газовые составляющие термосферы [O]/[N<sub>2</sub>] и [O<sub>2</sub>]/[O] в годы минимума солнечной активности (2007–2009 гг.) на ст. «Норильск» // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск. 2015. С. 209–211.
3. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Долговременные изменения в нейтральном газовом составе термосферы // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XXI международного симпозиума. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 136.
4. Яковлева О.Е., Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М. Основные газовые составляющие термосферы [O]/[N<sub>2</sub>] и [O<sub>2</sub>]/[O] в годы минимума солнечной активности (2007–2009 гг.) на

станции Норильск // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск. 2015. С. 63–64.

5. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Долговременные изменения в нейтральном газовом составе термосферы // Солнечно-земная физика. 2015 (в печати).

### Исследование динамики регионального электронного содержания в Сибири и Японии

Проведен анализ динамики регионального электронного содержания (РЭС) в Сибири и Японии в 1998–2013 гг., а также годовых, полугодовых и 27-дневных вариаций РЭС. Для анализа состояния ионосферы над Сибирским регионом выбрана территория в пределах 50–55° N, 100–105° E; регион Японии был ограничен 35–40° N, 135–140° E. Анализ выполнен по данным глобальных карт полного электронного содержания (ПЭС) лаборатории CODE [<http://www.cx.unibe.ch>].

На рис. 86 представлена динамика РЭС в регионах Сибири и Японии в 1998–2013 гг. На рис. 86, *a* ряды сглажены окном 10 дней для удаления суточных вариаций; на рис. 86, *б* — окном 365 дней для выделения общей 11-летней динамики. Значительный шум в данных, представленных на рис. 86, *a*, обусловлен 27-дневными вариациями. В динамике хорошо прослеживаются годовые и полугодовые вариации, а также общий 11-летний ход, характеризующий цикл солнечной активности (СА) с максимумом в 2002 г. В то же время РЭС в Японии в 2000 г. характеризуется значениями, более высокими, чем в 2002 г. (рис. 86, *a*). Регион Японии характеризуется значениями РЭС, более высокими по сравнению с регионом Сибири.

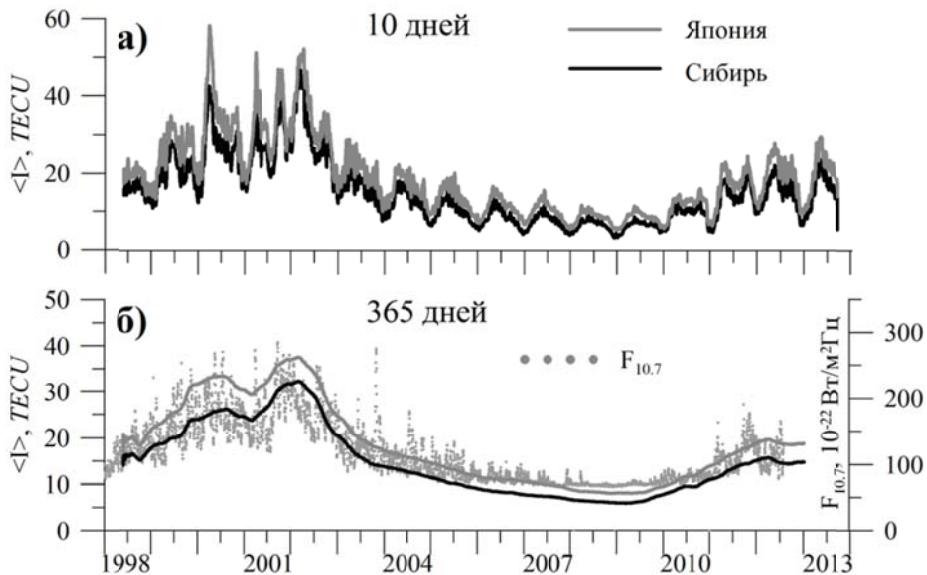


Рис. 86. Динамика РЭС над Японией (серая кривая) и Сибирью (черная кривая). Ряды сглажены скользящим средним с окном 10 дней (*а*) и 365 дней (*б*). На панели (*б*) серыми точками приведены значения индекса  $F_{10.7}$

На рис. 87 представлены годовые (*а*) и полугодовые (*б*) вариации РЭС в Японии и Сибири, а также вариации глобального электронного содержания (ГЭС). Амплитуда годовых вариаций РЭС в Японии несколько превышает амплитуду РЭС в Сибирском регионе в максимуме СА (1999–2001 гг.). На спаде и в минимуме СА их значения близки. Амплитуда годовых вариаций в регионе Сибири с 3–5 ТЕСУ в максимуме СА постепенно уменьшается с уменьшением уровня СА до 1.5 ТЕСУ в 2009 г., а с выходом на новый цикл СА снова растет. Годовые вариации РЭС и ГЭС в Сибирском регионе сдвинуты по фазе. Максимум годовых вариаций ГЭС приходится на зимние месяцы, РЭС в Сибири и Японии — на летние.

Амплитуда полугодовых вариаций РЭС имеет наибольшие значения в максимуме 23-го и 24-го циклов СА и резко уменьшается в минимуме СА. Стоит отметить, что полугодовые вариации РЭС в Японии и Сибири имеют одинаковую фазу с полугодовыми вариациями ГЭС. Максимумы полугодовых вариаций приходятся на равноденствие, минимумы — на солнцестояние. Подобие полугодовых вариаций РЭС в различных регионах и ГЭС указывает на общность процесса формирования ионосферы в зависимости от системы нейтральных ветров в различных регионах.

Обнаружено, что амплитуда 27-дневных вариаций РЭС модулирована (рис. 88). Основной период модуляции составляет полгода, хотя имеют место и более высокочастотные гармоники. В периоды солнцестояния наблюдаются минимумы амплитуды вариаций, в периоды равноденствия — максимумы. Наибольшая амплитуда 27-дневных вариаций отмечалась в 2001 г. (до 6 ТЕСУ в Сибирском регионе и 7 ТЕСУ в Японии). В минимуме солнечной активности амплитуда 27-дневных вариаций находится в пределах 0.5–2 ТЕСУ.

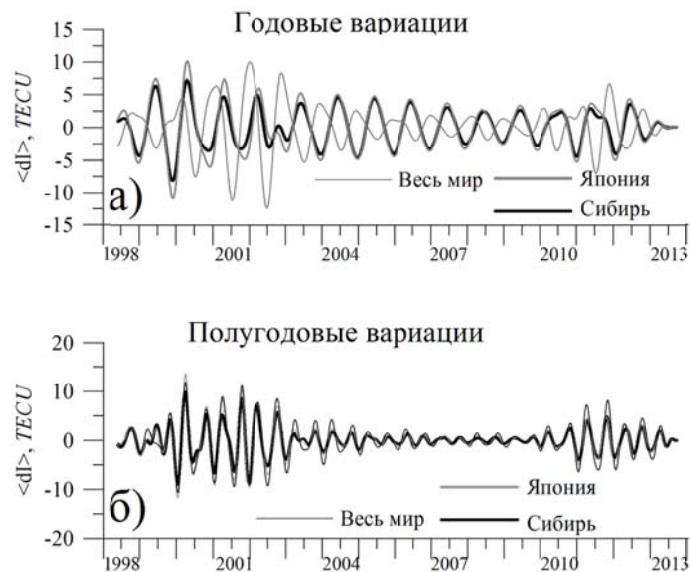


Рис. 87. Годовые (а) и полугодовые (б) вариации РЭС в Сибири и Японии по сравнению с вариациями ГЭС

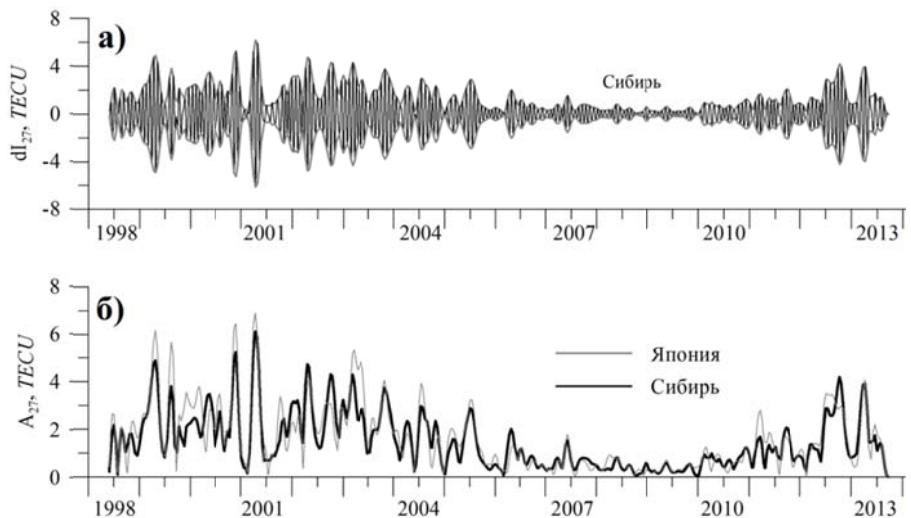


Рис. 88. 27-дневные вариации РЭС (а) в Сибирском регионе (серая кривая — огибающая вариаций); 27-дневные вариации РЭС (б) в Сибирском регионе (черная кривая) и Японии (серая кривая)

*Долготный эффект в проявлении летней вечерней аномалии.* Совместно с ЗО ИЗМИРАН проведен анализ долготного эффекта в проявлении летней вечерней аномалии в ионосфере. Летняя вечерняя аномалия заключается в появлении вечернего максимума в

суточном ходе электронной концентрации  $N_mF2$  в максимуме слоя  $F2$  ионосферы и полного электронного содержания (ПЭС) в летние месяцы. При этом значение электронной концентрации в вечернем максимуме может быть больше, чем в дневном.

Для исследования долготного эффекта использовались данные ионозондов и GPS-ПЭС. Полученные результаты свидетельствуют, что летняя вечерняя аномалия проявляется в поведении ПЭС и  $N_mF2$ . При этом в ПЭС аномалия выражена гораздо слабее, чем в  $N_mF2$ , и наблюдается в более ранние часы (рис. 89).

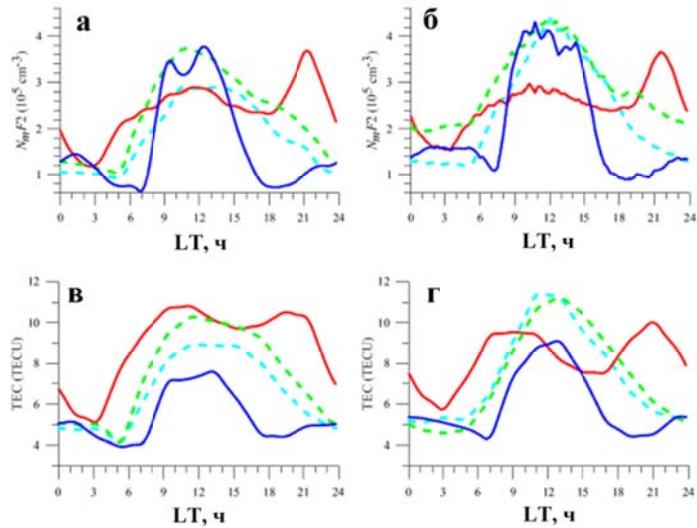


Рис. 89. Максимум электронной концентрации  $N_mF2$  над Калининградом (а) и Иркутском (б) 22 декабря (синяя кривая), 22 марта (голубая кривая), 22 июня (красная кривая), 22 сентября (зеленая кривая) 2009 г.; ПЭС над Калининградом (в) и Иркутском (г) для тех же дат

### Публикация

Klimenko M.V., Klimenko V.V., Ratovsky K.G., Zakharenkova I.E., Yasyukevich Yu.V., Korenkova N.A., Cherniak I.V., Mylnikova A.A. Mid-latitude summer evening anomaly (MSEA) in F2 layer electron density and total electron content at solar minimum // Adv. Space Res. 2015. V. 56. P. 1951–1960.

### Индекс $W_{\text{tec}}$ для оценки усредненной интенсивности вариаций ПЭС

Для оценки усредненной интенсивности вариаций ПЭС разработан индекс  $W_{\text{tec}}$ , который характеризует уровень возмущенности вертикальных вариаций ПЭС в выбранном диапазоне периодов по данным отдельной станции GPS/ГЛОНАСС. Индекс позволяет получать многодневные непрерывные ряды усредненной интенсивности вариаций ПЭС на отдельной станции GPS/ГЛОНАСС, что решает проблему изучения долговременных вариаций ПЭС, связанную с малой длительностью непрерывного ряда ПЭС из-за ограниченного времени наблюдения одного навигационного спутника.

Исходными данными для расчета  $W_{\text{tec}}$  являются фильтрованные в выбранном диапазоне периодов ряды вариаций ПЭС вдоль наклонных лучей приемник – спутник GPS. Ряды «наклонных» фильтрованных вариаций ПЭС приводятся к эквивалентным «вертикальным» значениям. Для каждого ряда вертикальных вариаций ПЭС рассчитывается ряд интенсивности вариаций ПЭС  $A(t)$ . Для этого вариации ПЭС берутся по модулю и сглаживаются скользящим средним с окном 20 мин. На конечном этапе рассчитывается интенсивность вариаций ПЭС  $W_{\text{tec}}(t)$ , усредненная по всем радиолучам приемник–ИСЗ для выбранного приемника GPS/ГЛОНАСС. Специфика данных GPS/ГЛОНАСС заключается в том, что спутники наблюдаются в различные интервалы времени, что приводит к появлению резких перепадов в усредненных данных в моменты времени, соответствующие началу и окончанию наблюдения одного спутника. Чтобы избежать указанных перепадов

в рядах  $W_{\text{tec}}(t)$  используется процедура взвешенного усреднения рядов интенсивности  $A(t)$ . Описанная процедура расчета  $W_{\text{tec}}(t)$  позволяет получить непрерывный усредненный ряд значений интенсивности вариаций ПЭС, фильтрованных в выбранном диапазоне периодов, любой длительности с временным разрешением, определяемым временным разрешением работы приемника.

Разработанная методика была опробована при исследовании ионосферных эффектов, сопровождавших падение Челябинского метеорита 15 февраля 2013 г. Для анализа использовались данные сети приемников GPS/ГЛОНАСС, расположенных в районе падения метеорита. Анализ поведения индекса  $W_{\text{tec}}$  14–16 февраля 2013 г. показал (рис. 90), что после взрыва метеорита в течение  $\sim 1.5$  ч наблюдалось увеличение в 2–3 раза значений индекса  $W_{\text{tec}}$ , превышающее разброс фоновых значений за предыдущий и последующий дни. Наибольшая амплитуда отклика  $W_{\text{tec}}$  зарегистрирована на радиолючах приемник–спутник, расположенных южнее, восточнее и западнее места взрыва, в то время как севернее эффекта не наблюдалось. Наиболее статистически значимые ионосферные эффекты наблюдались на радиолючах в южном секторе (азимуты на спутники GPS/ГЛОНАСС в интервале  $\pm 45^\circ$  от направления на юг).

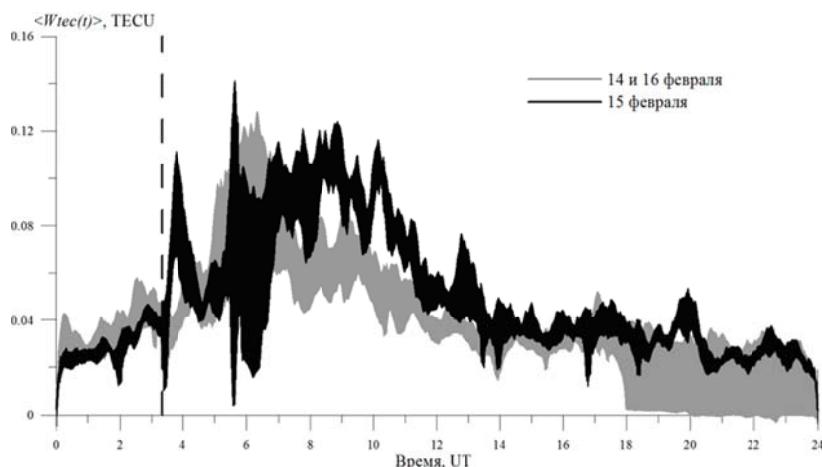


Рис. 90. Вариации индекса  $\langle W_{\text{tec}}(t) \rangle$ , усредненного по всем использованным станциям GPS/ГЛОНАСС, в день падения Челябинского метеорита 15 февраля 2013 г. (черная линия) и средний ряд  $\langle W_{\text{tec}}(t) \rangle$  за два соседних дня 14 и 16 февраля 2013 г. (серая линия). Шириной линий отображены значения среднеквадратичного отклонения, полученные при усреднении. Вертикальной штриховой линией отмечено время взрыва метеорита

### Публикации

Воейков С.В., Бернгардт О.И., Шестаков Н.В. Использование индекса возмущенности вертикальных вариаций ПЭС при исследовании ионосферных эффектов Челябинского метеорита // Геомагнетизм и аэрономия. 2015 (в печати).

## 4.5. Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера–ионосфера–магнитосфера Земли

### Исследование динамики ионосферы в периоды внезапных стратосферных потеплений

Выполнено исследование вариаций полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы в Арктическом регионе России во время внезапных стратосферных потеплений (ВСП) с 2006 по 2013 гг. В указанный период в Северном полушарии выявлено шесть ВСП типа major. Центр (область наибольшего повышения температуры в стратосфере) указанных потеплений располагался в Азиатском регионе России (рис. 91). Слабые потепления (типа minor) регистрировались практически каждую зиму. Выбранные для исследо-

вания годы характеризовались относительно низкой солнечной и геомагнитной активностью, и в течение фазы максимального развития рассматриваемых потеплений геомагнитных возмущений не регистрировалось.

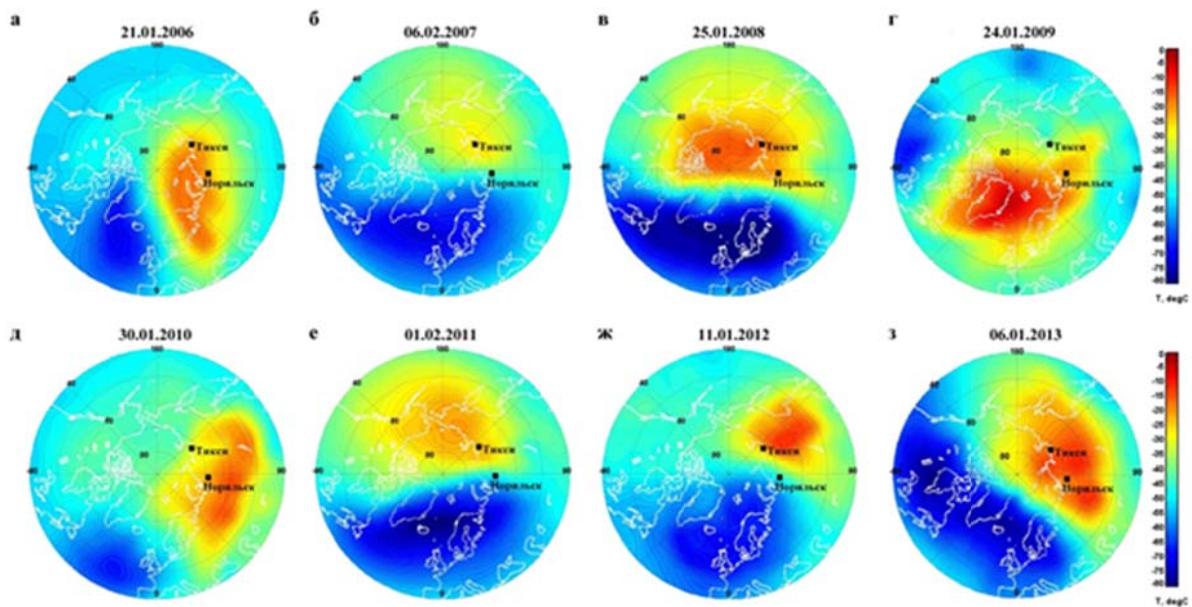


Рис. 91. Температура стратосферы на уровне 10 гПа (~30 км) в дни максимумов ВСП по данным NCEP/NCAR Reanalysis.

Для рассматриваемых интервалов времени был выполнен анализ вариаций ПЭС на основе данных фазовых двухчастотных приемников GPS/ГЛОНАСС сети IGS, расположенных в исследуемом регионе (квадраты на рис. 91). Из полученных рядов рассчитывались отклонения ПЭС от фонового уровня  $dI_V$ . Фоновые величины ПЭС вычислялись путем усреднения значений  $I_V$  за 15 геомагнитно-спокойных дней до и 15 после каждого текущего дня.

Пример полученных распределений  $dI_V$  на высокоширотных станциях NRIL ( $88.36^\circ$  E,  $69.36^\circ$  N) и TIXI ( $128.86^\circ$  E,  $71.63^\circ$  N) показан на рис. 92. Видно, что в фазе развития потепления наблюдается снижение суточного максимума ПЭС на 1–1.5 TECU относительно спокойных дней, а также увеличение ночных величин ПЭС. После максимума ВСП в течение 5–6 дней отмечается существенный рост ПЭС: дневные значения  $I_V$  на 2–3 TECU выше фоновых и практически в два раза превышают дневные значения ПЭС, регистрируемые до максимума ВСП. В периоды других сильных ВСП, за исключением событий в конце зимы, поведение ПЭС было аналогичным.

Таким образом, анализ поведения ПЭС в зимние месяцы 2006–2013 гг. показал, что, несмотря на спокойную геомагнитную обстановку, в периоды ВСП наблюдаются существенные изменения состояния высокоширотной ионосферы. В фазе развития ВСП отмечается уменьшение дневных значений ПЭС до 1.5 TECU и увеличение ночных относительно фонового уровня. После максимума ВСП регистрируется существенный рост околоводушенных величин ПЭС на 2–3 TECU в сравнении со спокойными днями. Для событий ВСП в конце зимы подобной реакции ионосферы выявить не удается.

Проведен анализ параметров нейтральной атмосферы и ионосферы в период развития и действия значительного (major) ВСП в январе 2013 г. по наземным спектрометрическим, радиофизическим и спутниковым данным с привлечением данных систем реанализа. Выявлены и проанализированы возмущения температурного и динамического режимов одновременно в большом диапазоне высот атмосферы (рис. 93) от стратосферы до термосферы. Предполагается, что в результате значительных возмущений температурного и динамического режима в большом диапазоне атмосферных высот в результате ВСП произошло усиление вертикального переноса в атмосфере. Это привело к интенсификации в 2–2.5 раза эмиссий OH и O<sub>2</sub>, возникающих в области мезосферы и нижней термосферы

(МНТ) (рис. 93, *f*, *g*). Спустя несколько дней на высотах максимума F2-области ионосферы произошло увеличение молекулярной плотности вследствие переноса молекул  $N_2$  и  $O_2$  из нижележащих областей. Это привело к нарушению корреляции электронной концентрации и высоты максимума F2-области ионосферы. Обнаружено, что поведение ионной температуры в F2-области во многом повторяет вариации температуры нейтральной атмосферы в области МНТ с временной задержкой  $\sim 5$  сут.

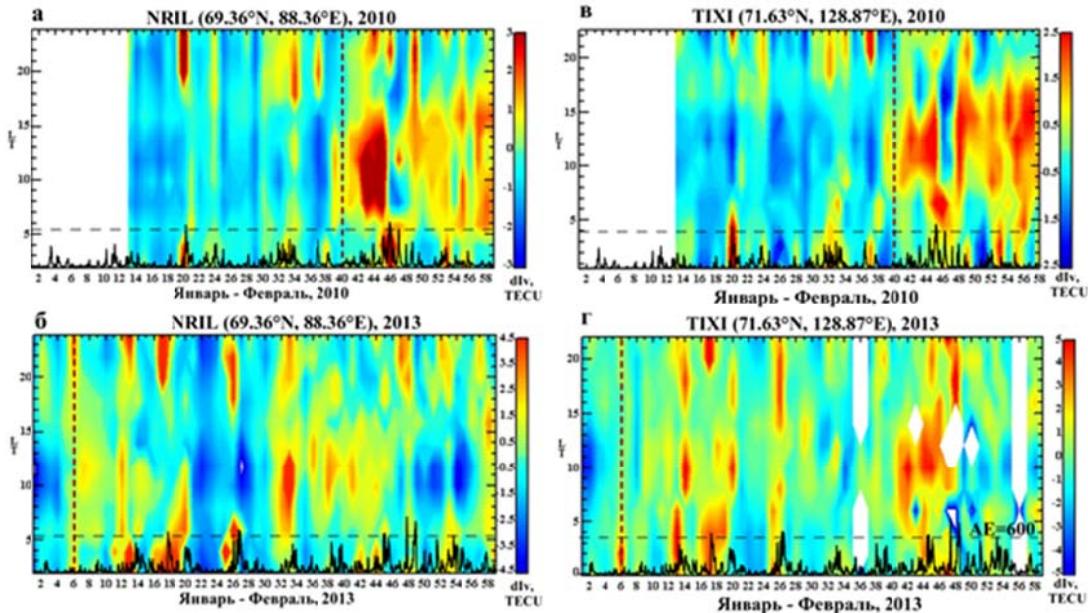


Рис. 92. Распределения ПЭС на станциях NRIL (*а, б*) и TIXI (*в, г*) в январе–феврале 2010 и 2013 г. Красными штриховыми линиями показаны максимумы ВСП, черной кривой нанесены вариации индекса AE.

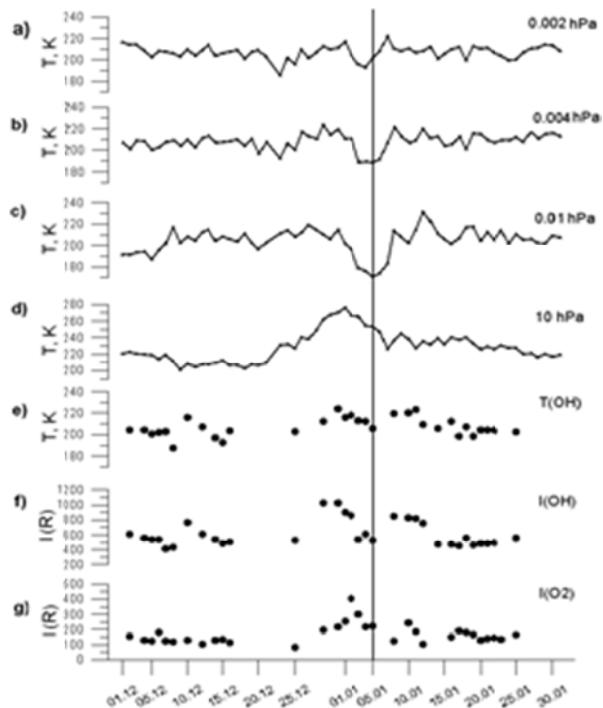


Рис. 93. Вариации атмосферной температуры в области МНТ (*а–с*) и в стратосфере (*д*) по спутниковым данным MLS Aura, вариации вращательной температуры OH (*е*) и интенсивностей эмиссий OH (*ф*) и  $O_2$  (*г*) по наземным спектрометрическим данным, с 1 декабря 2012 г. по 31 января 2013 г. Вертикальная линия соответствует смене направления средней зональной циркуляции ( $60N$ ,  $10hPa$ ), начало значительного (“major”) ВСП

## **Публикации**

1. Polyakova A.S., Chernigovskaya M.A., Mylnikova A.A. The study of the ionospheric dynamics during strong sudden stratospheric warmings in the Russia's Arctic region // PIERS 2015 Proc. Prague, Czech Republic, July 6–9, 2015. P. 2557–2561. ISSN 1559-9450.
2. Medvedeva I., Medvedev A., Ratovsky K., Shcherbakov A., Tolstikov M. Comprehensive study of disturbances of the neutral atmosphere and ionosphere parameters over Eastern Siberia during the 2013 January major sudden stratospheric warming // Adv. Space Res. 2015. V. 56, iss. 9. P. 1877–1885. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2015.06.008>.
3. Полякова А.С., Мыльникова А.А. Исследование динамики ионосферы в периоды внезапных стратосферных потеплений в Арктическом регионе России // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 14–18 сентября 2015 г.: Труды. CD-ROM. С. 178–180.
4. Полякова А.С., Черниговская М.А., Перевалова Н.П. Исследование отклика ионосферы на внезапные стратосферные потепления в Азиатском регионе России // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4 (в печати).
5. Полякова А.С., Мыльникова А.А. Исследование вариаций ионосферных параметров в периоды внезапных стратосферных потеплений в Арктическом регионе России на основе данных вертикального зондирования и GPS/ГЛОНАСС // Тринадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». ИКИ РАН, 16–20 ноября 2015 г.: Тезисы докл. 2015.
6. Medvedeva I., Medvedev A., Ratovsky K., Shcherbakov A. Influence of major sudden stratospheric warming on the neutral upper atmosphere and ionosphere over Eastern Siberia // 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly. June 22 – July 2, 2015, Prague, Czech Republic: Abstracts. A12p-158.

## **Изучение механизмов генерации орографических планетарных волн, крутильных колебаний и долговременных изменений внезапных стратосферных потеплений**

Согласно результатам предыдущих исследований было установлено, что волновой механизм возбуждения внезапных стратосферных потеплений (ВСП), предложенный Мацуно в 1971 г., не всегда отражает реальную ситуацию. Согласно Мацуно, разрушению Полярного вихря и развитию ВСП предшествует распространение из среднеширотной тропосферы в стратосферу длинных планетарных волн ( $m=1,2$ ) и их взаимодействие со стратосферным струйным течением. Однако в ряде случаев ВСП возникали при отсутствии значимых возмущений в тропосфере средних широт.

Ранее нами была установлена связь ВСП с динамическими процессами в тропиках, для выделения которой была использована техника расчета так называемых крутильных колебаний. Мы предположили, что причиной генерации возмущений может быть Madden-Julian Oscillation (MJO) – периодически усиливающаяся крупномасштабная конвекция в тропиках. Для проверки возможности влияния возмущений в тропической стратосфере на динамические процессы в полярных широтах были выполнены модельные расчеты с использованием трехмерной модели средней и верхней атмосферы (MCBA), разработанной на основе модели COMMA-LIM (COlogne Model of the Middle Atmosphere – Leipzig Institute for Meteorology).

Результаты предварительных расчетов показали, что процессы в экваториальной тропосфере и стратосфере (квазидвухлетние колебания, конвективные источники тепла) влияют на циркуляцию зимней внетропической стратосферы, включая ВСП. Характер влияния зависит от амплитуды и расположения источников тепла в тропосфере, которые могут усиливать или ослаблять циркуляционные факторы, ответственные за формирование барических аномалий в области стратосферного полярного вихря. Наиболее сильное влияние оказывают дополнительные источники тепла в восточной части Индийского океана.

Волновой перенос энергии из этого района усиливает барические аномалии во внётропической стратосфере над северо-востоком Азии и северной частью Тихого океана, что способствует развитию ВСП. Для подтверждения выявленных тенденций и накопления статистики необходимо продолжение моделирований при различных параметрах внешних воздействий.

Для иллюстрации эффекта влияния источников тепла в тропиках на циркуляцию атмосферы в высоких широтах на рис. 94 приведены разности среднемесячных значений среднезональной температуры и скорости ветра, полученные в экспериментах с дополнительным источником нагрева в тропиках и без источника нагрева при различном положении источника нагрева. Условия экспериментов приведены в табл. 11.

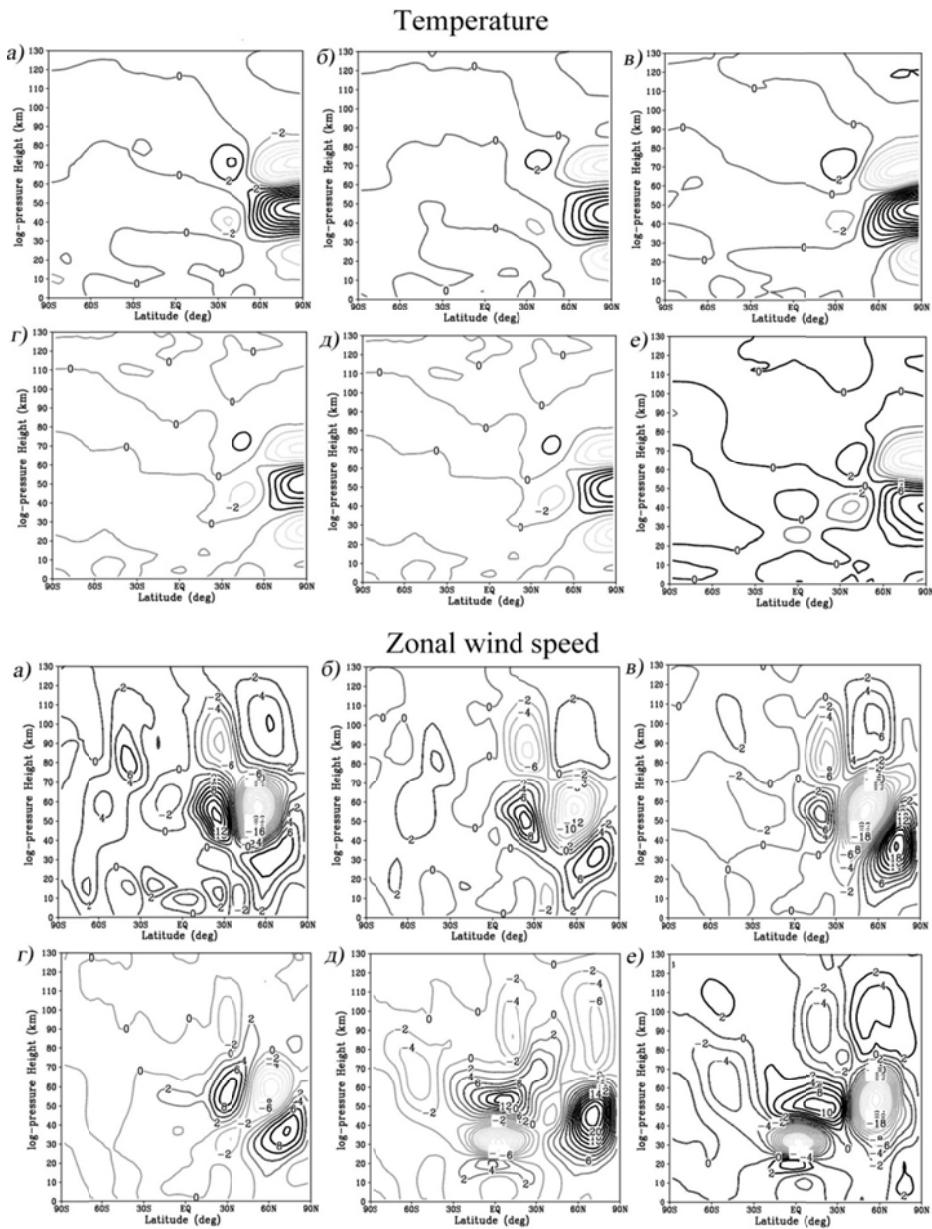


Рис. 94. Разности среднемесячных значений среднезональной температуры и скорости ветра, полученных в экспериментах с дополнительным источником нагрева в тропиках и без него: *а* — wMJO-MJO, *б* — wMJO-MJO1, *в* — wMJO-MJO2, *г* — wMJO-MJO3, *д* — wMJO- wMJO\_wQBO, *е* — wMJO-MJO\_wQBO (см. табл. 11).

Таблица 11. Условные обозначения модельных экспериментов с различными параметрами источника нагрева

	Амплитуда (°С/сут)	Долгота с макс. нагревом	Фаза КДК
wMJO (без источника)	—	—	восточная
MJO	1	120°	восточная
MJO1	0.5	120°	восточная
MJO2	0.25	120°	восточная
MJO3	0.25	90°	восточная
wMJO_wQBO (без источника)	—	—	западная
MJO_wQBO	0.25	90°	западная

### ***Публикации***

1. Девятова Е.В., Кочеткова О.С., Татарников А.В., Мордвинов В.И., Щеглова Е.С. Сравнение полей температуры по данным спутникового зондирования и архива ERA-INTERIM в зимней стратосфере над Сибирью // Солнечно-земная физика. 2014. Т. 25. С. 51–54.
2. Девятова Е.В., Угрюмов А.И., Мордвинов В.И. Связь летней тропосферной циркуляции с циркуляцией стратосферы в конце зимы // Солнечно-земная физика. 2014. Т. 25. С. 44–50.
3. Кочеткова О.С., Михалев А.В., Мордвинов В.И., Татарников А.В. Динамика атмосферы и сейсмическая активность в Байкальской рифтовой зоне // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3, С. 55–61.

### **Анализ метеорологических эффектов в вариациях параметров средней атмосферы и ионосферы**

На основе анализа данных вертикального зондирования ионосферы над регионами Иркутска и Норильска выполнено исследование влияния волновой активности, связанной со струйными течениями на высотах стратосферы и нижней мезосферы, на вариации параметров ионосферы в условиях минимума солнечной активности.

Установлено, что с зимними струйными течениями на высотах стратосферы и нижней мезосферы, локализованными на широтах 50°–80° N, связаны среднемасштабные волновые движения в поле вертикальных скоростей атмосферного газа, которые могут быть источниками распространяющихся вверх гравитационных волн. Показано, что эти волновые возмущения передаются на высоты нижней мезосферы и выше и проявляются в виде перемещающихся атмосферных и ионосферных возмущений. По данным ионозондов DPS-4 в Иркутске и Норильске в 2008–2010 гг. установлено, что в периоды усиления стратосферной волновой активности наблюдалось заметное повышение высокочастотной части изменчивости концентрации в максимуме электронной концентрации F2-слоя в диапазоне периодов 0.5–6 ч (рис. 95), которая в основном вызвана перемещающимися ионосферными возмущениями, связанными с распространением гравитационных волн.

Оценена зависимость этих эффектов от положения пункта наблюдения относительно зоны циркуляции струйного течения. Для обеих станций наибольшая изменчивость в ионосфере на высотах F2-слоя наблюдалась в зимнее время, наименьшая — в летнее. Разница зима–лето более контрастна для Норильска. Возможные причины различия волновой активности на высотах F2-слоя ионосферы над Норильском и Иркутском в зимние сезоны могли быть связаны с тем, что эти регионы были подвержены воздействию различных частей зимних стратосферных циркумполярных вихрей, которые меняли свою структуру

каждую зиму. Над зонами вихрей генерировались среднемасштабные волновые движения, которые распространялись вверх до высот термосфера и ионосфера, изменяя баланс  $[O]/[N_2]$  и вызывая, как следствие, вариации ионосферных параметров.

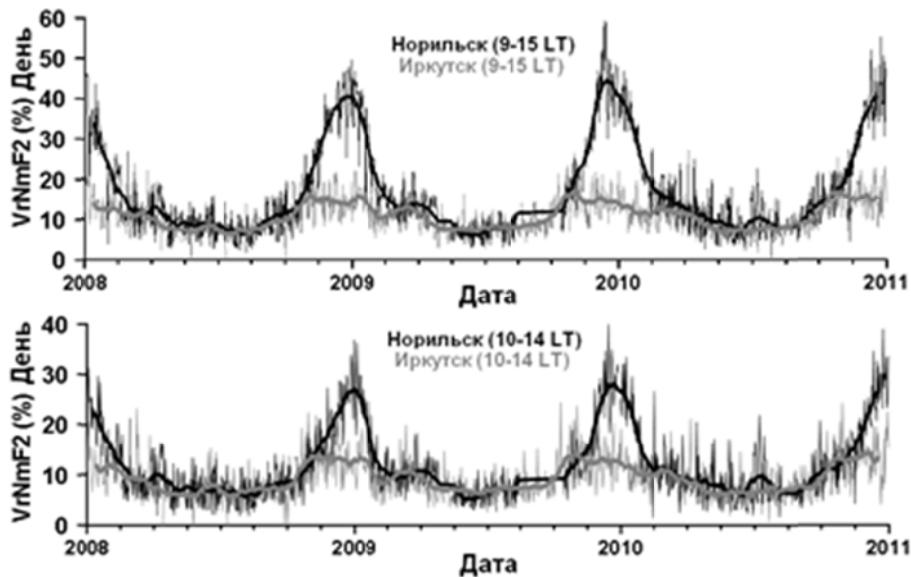


Рис. 95. Временные изменения коэффициента вариаций  $V_r N_m F2$  над Иркутском и Норильском в 2008–2010 гг. для периодов 4 и 6 ч, сглаженные скользящим средним по 27 дням

### Публикации

1. Shpynev B.G., Churilov S.M., Chernigovskaya M.A. Generation of waves by jet-stream instabilities in winter polar stratosphere/mesosphere // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 2015. V. 136. P. 201–215. DOI: 10.1016/j.jastp.2015.07.005.
2. Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Шпынев Б.Г. Метеорологические эффекты ионосферной возмущенности над регионом Восточной Сибири по данным вертикального радиозондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12, № 3. С. 39–48.
3. Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Ratovksy K.G., Stepanov A.E. The stratospheric jet stream effects in the high-latitude ionosphere according to vertical radio sounding data // PIERS Proc. Prague, Czech Republic, July 6–9, 2015. P. 2562–2566.

### Изменчивость параметров нейтральной атмосферы и ионосферы

По многолетним данным спектрометрических измерений и вертикального радиозондирования проведено исследование изменчивости параметров нейтральной верхней атмосферы (температура области мезопаузы,  $T_m$ ) и ионосферы (максимум электронной концентрации,  $N_m F2$ ), вызванной проявлением активности волн различных временных масштабов. В сезонном ходе межсуточной атмосферной изменчивости вследствие активности планетарных волн хорошо выраженные максимумы наблюдаются в зимние месяцы, а также в периоды равноденствий (рис. 96). Возможной причиной повышенной вариативности температуры области мезопаузы зимой могут быть ВСП, влияющие на температурный и динамический режим верхней атмосферы. Увеличение температурной изменчивости в периоды равноденствий может быть следствием сезонной перестройки атмосферной циркуляции.

Выявлено, что межсуточные вариации анализируемых параметров атмосферы и ионосферы имеют во многом схожий характер. Выявленное сходство в сезонных вариациях изменчивости исследуемых характеристик может указывать на то, что планетарные волны, распространяющиеся из нижних слоев атмосферы, имеют существенное влияние как на температурный режим области мезопаузы, так и на поведение электронной концентрации в F2-области ионосферы.

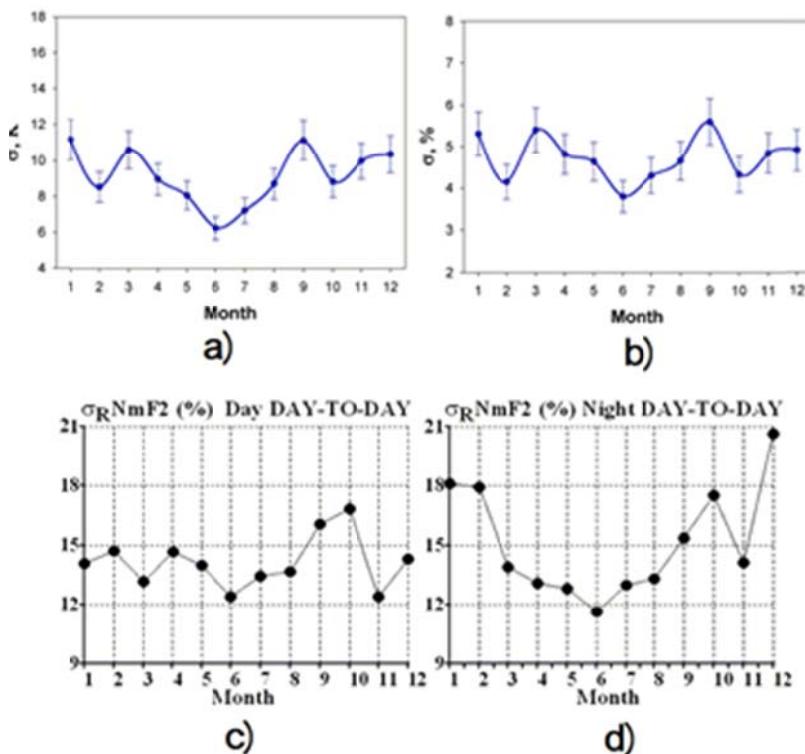


Рис. 96. Верхняя панель: (a) — сезонный ход среднемесячных отклонений температуры области мезопаузы от ее годового хода (абсолютные значения); b — нормированные на средние значения температуры. Нижняя панель: сезонные вариации межсуточной изменчивости максимума электронной концентрации  $N_mF2$  (c — дневные значения, d — ночные)

### Публикации

1. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование изменчивости параметров нейтральной верхней атмосферы и ионосферы по данным спектрометрических измерений и радиозондирования // Тринадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 16–20 ноября 2015 г.: Тезисы докл. С. 454.

2. Medvedeva I., Ratovsky K., Medvedev A., Tolstikov M. Wave activity seasonal dependence in variations in parameters of the neutral upper atmosphere and ionosphere // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly. June 22 – July 2, 2015, Prague, Czech Republic: Abstracts. A12p-157.

### Исследование вариаций температуры в области мезопаузы

Проведено исследование и сопоставление сезонных вариаций температуры атмосферы в области мезопаузы для среднеширотных долготных регионов. Использовались данные спектральных наблюдений гидроксильного излучения (полоса (6,2) 834.0 нм) в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E, Торы) и на Звенигородской научной станции ИФА РАН (56° N, 37° E) в 2008–2014 гг. Сезонные вариации были получены при помощи гармонического анализа первых трех годовых гармоник с периодами 12, 6 и 4 мес. всех данных наблюдений (рис. 97).

Сопоставление полученных сезонных вариаций температуры области мезопаузы по данным, полученным на двух среднеширотных станциях, выявило их различие (рис. 98). В летние и зимние месяцы температура по данным ст. «Звенигород» ниже на ~3 K, а в периоды весеннего и осеннего равноденствия выше на ~1–4 K, чем по данным ст. «Торы».

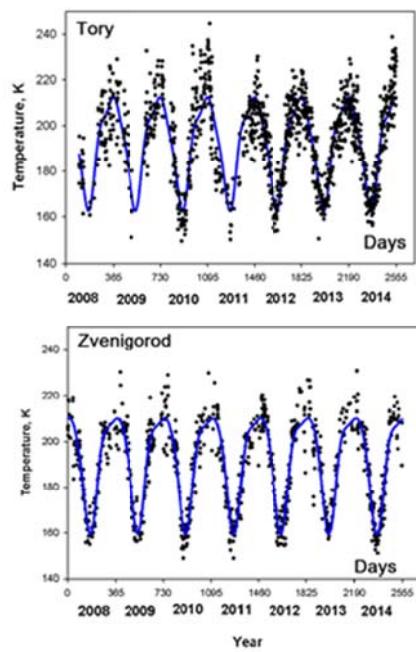


Рис. 97. Средние ночные значения температуры (точки) и средние сезонные вариации (сплошные линии), полученные на основе гармонического анализа всей совокупности данных для места наблюдения по данным обсерватории «Торы» (верхняя панель) и станции «Звенигород» (нижняя панель).

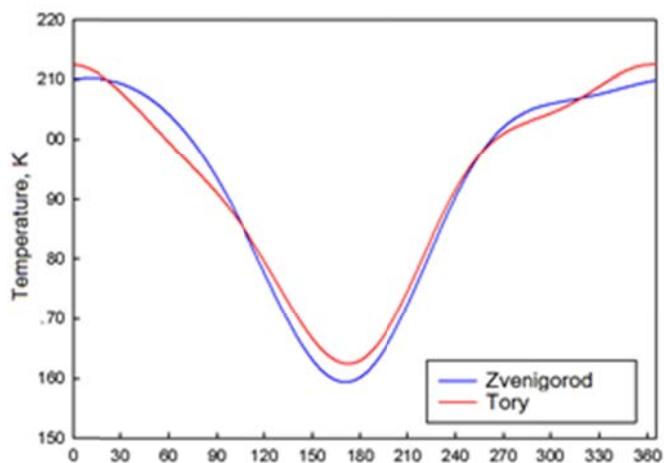


Рис. 98. Реконструкции сезонного хода температуры области мезопаузы на основе гармонического анализа всей совокупности данных для двух точек наблюдения: по данным ст. Торы (красный) и ст. Звенигород (синий)

### Публикация

Medvedeva I., Semenov A., Perminov V. Longitudinal features of temperature in the mesopause region from middle-latitude measurements of OH emission // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly. June 22 – July 2, 2015, Prague, Czech Republic: Abstracts, IUGG-2581.

### Исследование связи сейсмической активности с динамикой атмосферы

Рассмотрена динамика тропосферы, температурный режим в стратосфере, излучение верхней атмосферы и сейсмическая активность в Байкальской рифтовой зоне в зимние периоды 2011–2012 и 2012–2013 гг. Вариации характеристик литосферы и тропо-стратомезосферы в эти интервалы времени происходили либо синхронно, либо с некоторой задержкой. Установлено, что за несколько суток до усиления сейсмической активности в

регионе скорость ветра в нижней атмосфере достигала максимальных значений, а затем снижалась до минимума в момент землетрясения. Периоды сейсмической активности в регионе совпали с эпизодами стратосферных потеплений и увеличением интенсивности атмосферной эмиссии 557.7 нм на высотах 85–115 км, т. е. в мезосфере и нижней термосфере (рис. 99). Возможной причиной найденной корреляции может быть усиление атмосферных воздействий на горные массивы, формирование над горными системами вертикальных потоков, генерация планетарных и гравитационных волн. Сделан вывод, что, вероятно, в некоторых геофизических условиях взаимодействие между атмосферой и литосферой может вносить определенный вклад в подготовку и инициацию землетрясений.

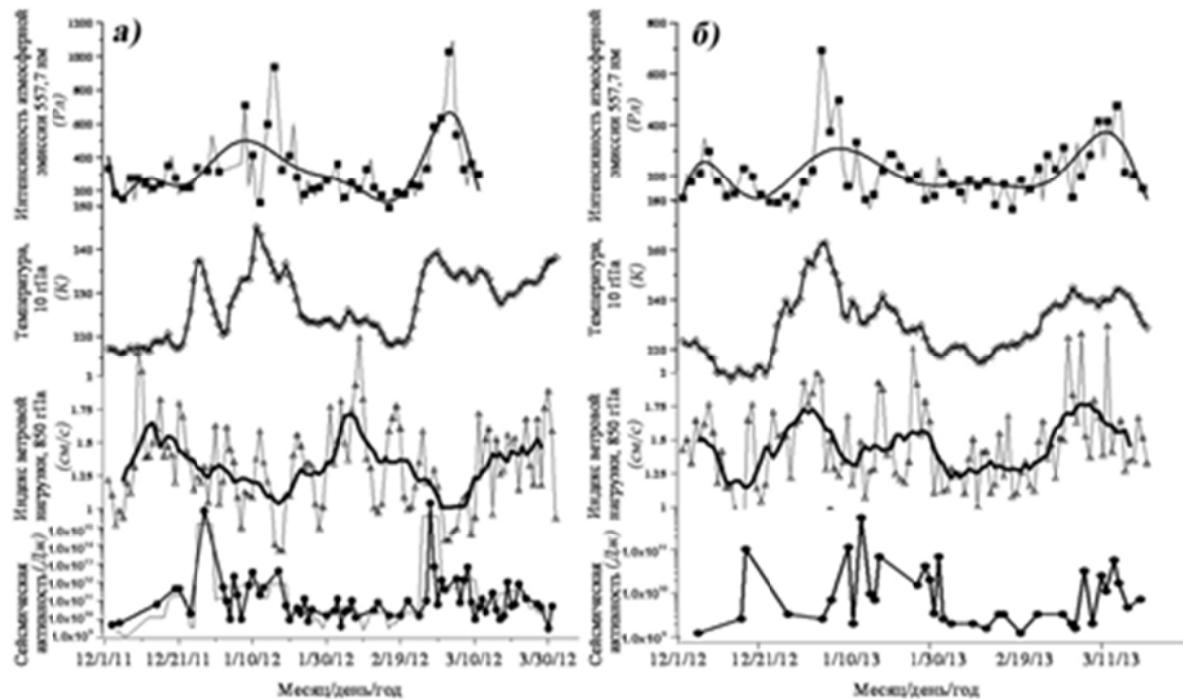


Рис. 99. Вариации среднесуточных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм (верхняя кривая), температуры на уровне 10 гПа (данные спутника Aura над районом ГФО ИСЗФ СО РАН (вторая кривая сверху), индекса ветровой нагрузки (третья кривая) и сейсмической активизации ES (нижняя кривая) зимой 2011–2012 гг. (а) и зимой 2012–2013 гг. (б)

### Публикация

Кочеткова О.С., Михалев А.В., Мордвинов В.И., Татарников А.В. Динамика атмосферы и сейсмическая активность в Байкальской рифтовой зоне // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3, С. 55–61.

### Исследования атмосферных эффектов падения метеорита «Челябинск» 15 февраля 2013 г.

Были продолжены исследования эффектов падения челябинского метеорита в атмосфере Земли. Выполнен анализ вариаций собственного излучения верхней атмосферы в эмиссионных линиях атомарного кислорода OI 557.7 нм, OI 630 нм и натрия NaI 589.0–589.6 нм в Восточной Сибири после падения Челябинского метеорита 15 февраля 2013 г. Как видно на рис. 100, в первые ночи в вариациях эмиссий OI 557.7 нм, 630 нм и натрия NaI 589.0–589.6 нм отмечаются особенности, связанные с изменениями средних ночных интенсивностей (уменьшение для эмиссии OI 557.7 нм, увеличение для эмиссии натрия NaI 589.0–589.6 нм) и ночных ходов этих эмиссий.

В течение последующего месяца после падения челябинского метеорита отмечаются интервалы с тенденцией увеличения интенсивностей эмиссий OI 557.7 нм и натрия NaI 589.0–589.6 нм по сравнению с предшествующими периодами. Характер некоторых отмеченных особенностей вариаций эмиссий OI 557.7 нм, OI 630 нм и натрия NaI 589.0–589.6 нм в анализируемый период не исключает их возможной связи с падением челябинского метеорита 15 февраля 2013 г.

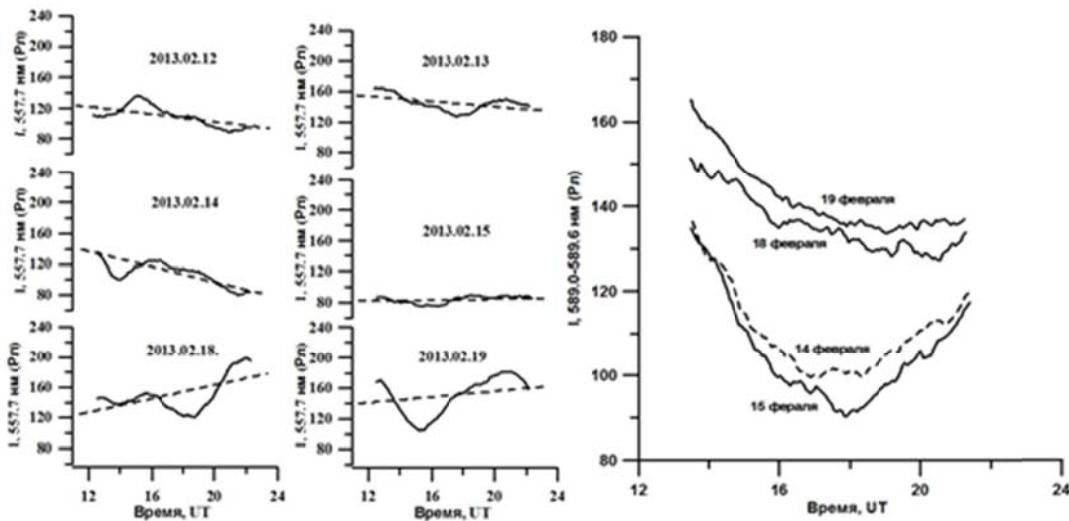


Рис. 100. Вариации собственного излучения верхней атмосферы Земли в эмиссионной линии атомарного кислорода OI 557.7 нм и в эмиссии натрия NaI 589.0–589.6 нм 12–19 февраля 2013 г.

### Публикация

Михалев А.В., Подлесный С.В., Костылева Н.В., Комарова Е.С. Оптические характеристики ночного неба в Восточной Сибири после падения Челябинского метеорита. II. Собственное излучение верхней атмосферы Земли // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 8. С. 718–724.

**Мониторинг и диагностика ионосферы и нейтральной атмосферы Азиатского региона России с использованием наземных и спутниковых методов зондирования. Проведение регулярных измерений, организация банков данных GPS/ГЛОНАСС, спутниковых, оптических измерений в Азиатском регионе России**

### Оптические измерения

В 2015 г. в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН (Республика Бурятия, Тункинская долина, с. Торы) в темное время суток проводились регулярные оптические наблюдения собственного свечения верхней атмосферы Земли.

Экспериментальная база ГФО включает в себя следующее оборудование.

- Широкоугольная высокочувствительная фотокамера ФИЛИН-1Ц на базе ПЗС-матрицы, предназначенная для регистрации и исследования собственного излучения атмосферы, его пространственно-временных вариаций, естественных и искусственных космических объектов (метеоров, космических аппаратов), для контроля прозрачности атмосферы и решения некоторых других задач.

- Патрульный спектрометр САТИ-1М с низким спектральным разрешением, предназначенный для регистрации спектрального состава и пространственного распределения собственного излучения верхней атмосферы Земли. Основное назначение спектрометра — исследование возмущений в основных эмиссионных линиях и полосах (OI 557.7, OI 630.0, NaI 589.0–589.6 нм и др.) при гелиогеофизических возмущениях различной природы. Спектро-

метр позволяет получать двумерное изображение дуги небесной сферы в диапазоне длин волн 400–700 нм;

- Спектрограф для измерения вращательной температуры нейтральной атмосферы на высотах 80–100 км и интенсивности излучения ночного неба в спектральном диапазоне 820–870 нм;

- Высокочувствительная оптическая система для регистрации быстрых вариаций (~5–100 мс) в излучении ночного неба. Система создана на базе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) ЭПМ102Г-04-22С и ПЗС-камеры SDU-R259 и предназначена для исследования быстрых вариаций в спектральном распределении излучения ночного неба, а также для работы при высокой освещенности (зодиакальный свет, Луна). Оптическая система работает в составе высокочувствительного спектрографа на базе монохроматора МДР-2 и находится в опытной эксплуатации.

- Спектрограф на базе монохроматора МДР-12 и ПЗС-камеры CSDU-423 (опытная эксплуатация).

- Сканирующий интерферометр Фабри-Перо «КЕО Arinae» (опытная эксплуатация).

- Широкоугольная оптическая система КЕО Sentinel для регистрации пространственной картины интенсивности эмиссии 630 нм.

Экспериментальные данные оптических измерений, полученные в ГФО, передавались в ИСЗФ СО РАН в режиме онлайн.

Для всех приборов существуют и регулярно пополняются банки данных. Кроме того, созданы и поддерживаются базы данных (БД) с возможностью просмотра на сайте [atmos.iszf.irk.ru](http://atmos.iszf.irk.ru) (доступ по паролю).

## **Спутниковая информация о параметрах атмосферы**

В 2015 г. регулярно пополнялся архив спутниковой информации о параметрах атмосферы по данным станции приема спутниковых снимков «Алиса-СК», установленной в ИСЗФ СО РАН, а также по интернет-данным. Аппаратно-программный комплекс «Алиса-СК» предназначен для приема и обработки информации, передаваемой с полярно-орбитальных ИСЗ в диапазоне 1.7 ГГц. Комплекс обеспечивает прием и обработку информации со следующих ИСЗ: NOAA (POES); MetOp; FengYun; NPOESS (запуск в 2013 г.). В настоящее время на сайте ИСЗФ СО РАН доступен архив телеметрии NOAA и карты распределения облачного покрова. Архив телеметрии NOAA пополняется непосредственно после окончания приема данных со спутника (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/sputnik/noaa>). Кроме технических данных о пролете, существует возможность просмотра обзорного изображения пролета. В течение месяца на сайте доступен также и сам файл телеметрии. Карты распределения облачного покрова создаются непосредственно после приема данных со спутника в автоматическом режиме (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/sputnik/clouds>). На странице <http://atmos.iszf.irk.ru/ru/sputnik/mls> представлено пространственное распределение температуры на высотах от 56 до 0.001 гПа по данным микроволнового радиометра MLS (Microwave Limb Sounder), установленного на борту спутника Aura и предназначенного для измерения температуры и концентрации газовых примесей в различных слоях атмосферы. Исходные данные радиометра MLS получены по сети интернет.

## **Измерения на сети приемников GPS/ГЛОНАСС**

В 2015 г. поддерживались измерения в постоянном режиме на сети наземных приемников GPS/ГЛОНАСС, развернутой ИСЗФ СО РАН в Байкальском регионе (пункты

TORY, USOL, LIST, ISTP, MOND, UZUR, SARM). Приемники GPS/ГЛОНАСС выполняют групповые, фазовые, амплитудные измерения с частотой 1 Гц (стандартный режим). Данные пунктов TORY, LIST, UZUR, ISTP передаются в ИСЗФ СО РАН ежедневно в автоматическом режиме. Данные с остальных пунктов передаются курьером раз в один–два месяца. Данные измерений сети GPS/ГЛОНАСС приемников ИСЗФ СО РАН хранятся в специализированном банке данных в трех форматах: исходный бинарный формат приемника (разрешение 1 с), стандартный формат RINEX (разрешение 1 с), стандартный формат RINEX (разрешение 30 с). На рис. 101 отражены объемы данных, полученных на каждой станции сети и хранящихся в банке данных.

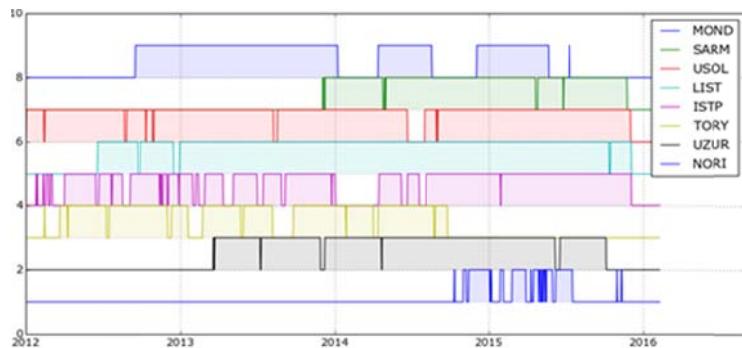


Рис. 101. Наличие данных станций GPS/ГЛОНАСС сети ИСЗФ СО РАН в исходном бинарном формате приемника в специализированном банке данных

Помимо данных, полученных на приемных пунктах ИСЗФ СО РАН, банк регулярно пополняется данными мировых сетей станций GPS (IGS, GSI/GEONET, UNAVCO и др.), файлами с навигационными сообщениями ГЛОНАСС и GPS, мировыми картами полного электронного содержания IONEX ведущих научных групп (CODG, JPLG, UPCG, IGSG, EMRG, ESAG).

### Регистрация эмиссий верхней атмосферы во время геомагнитной бури 17 марта 2015 г.

На основе данных, полученных с помощью комплекса оптических инструментов ГФО ИСЗФ СО РАН во время сильной геомагнитной бури 17 марта 2015 г. проведено исследование спектрального состава и пространственного распределения интенсивности эмиссий верхней атмосферы Земли. Пространственно-временные возмущения, связанные с магнитной бурей 17 марта 2015 г., впервые наблюдались на большом количестве приборов оптического комплекса ГФО с хорошим спектральным и пространственным разрешением.

Во время геомагнитной бури в течение  $\sim 5$  ч наблюдалось стабильное возмущение в виде ориентированной с запада на восток дуг. Размеры возмущения были рассчитаны для высоты  $\sim 400$  км: длина не менее 1000 км (угловой размер  $145^\circ$  — все поле зрения оптической системы), ширина  $\sim 70$  км (угловой размер  $\sim 10^\circ$ ). Возмущение передвигалось на юг со средней скоростью около 20 м/с. Смещение возмущения по широте хорошо коррелировало с изменением индекса  $D_{st}$  (рис. 102). Скорость смещения и размеры наблюдаемого возмущения соответствуют параметрам SAR-дуг.

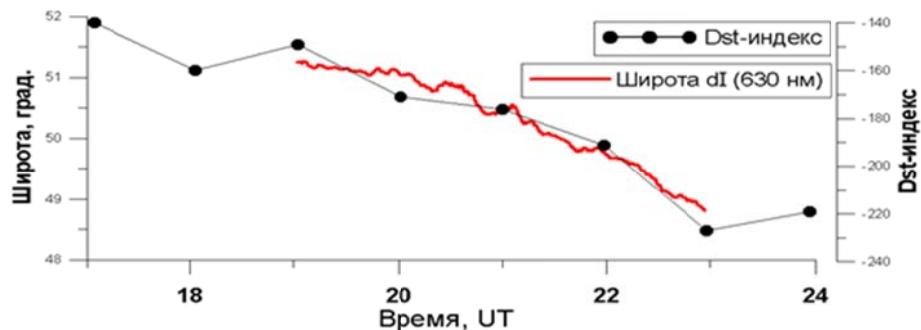


Рис. 102. Широта возмущения в эмиссии OI 630.0 нм и временной ход индекса  $D_{st}$

Во время бури 17 марта 2015 г. также регистрировались эмиссии 520 (NI) и 586.8 нм, которые не наблюдались в ночной среднеширотной атмосфере при невозмущенных условиях. Увеличение интенсивности эмиссий, присутствующих и в излучении среднеширотной атмосферы в невозмущенных условиях, во время геомагнитной бури составило для эмиссии атомарного кислорода OI 557.7 нм в среднем 5 раз (в максимуме интенсивности в 10–12 раз); для эмиссии атомарного кислорода OI 630.0 нм — в среднем 70 раз (в максимуме интенсивности в 300 раз).

### Исследование физических процессов динамики ионосферы в периоды геомагнитных возмущений на основе данных наблюдений и теоретического моделирования

#### Ионосферные эффекты магнитосферных и термосферных возмущений 17–19 марта 2015 г.

По данным вертикального и наклонного радиозондирования исследованы возмущения в ионосфере и термосфере во время магнитной бури 17–19 марта 2015 г. в северо-восточном регионе России. Рассмотрены гелиосферные источники, вызвавшие магнитную бурю. В начале главной фазы магнитной бури формирование главного ионосферного провала (ГИП) было обусловлено значительными изменениями  $B_z$ -компоненты межпланетного магнитного поля (ММП) и быстрым изменением электрического поля магнитосферной конвекции. Это привело к смещению границ провала в вечерние часы местного времени до географических широт 58°–60° N и появлению дополнительных КВ-радиосигналов, распространяющихся вне дуги большого круга на трассах наклонного зондирования Магадан–Иркутск и Норильск–Иркутск. Разогрев атмосферы в результате воздействия электрического поля и высыпания частиц вызвал увеличение скорости направленного к экватору меридионального ветра. Это явилось причиной генерации положительного ионосферного возмущения, наблюдавшегося на средних широтах исследуемого региона (рис. 103, а). Во второй половине главной фазы магнитной бури экваториальная граница ГИП сместилась до географической широты 52° N. В это время на среднеширотных станциях Иркутск и Mohe наблюдались спорадические слои, обусловленные ионизацией высыпающимися частицами (рис. 103, а), что обычно характерно для субавроральной ионосферы. Такое смещение ГИП подтверждается данными о полном электронном содержании и рассчитанным по модели ионосферно-плазмосферного взаимодействия распределением электронной концентрации ( $N_e$ ) на высоте 300 км в 16:00 UT 17.03.2015 (рис. 103, б).

Во время восстановительной фазы бури 18 марта 2015 г. в дневные часы регистрировалось падение критических частот  $f_{0F2}$  на всех рассматриваемых станциях, а также уменьшение максимальных наблюдаемых частот на трассах наклонного зондирования более чем в два раза. Это связано со значительным изменением нейтрального состава атмосферы, проявившимся в увеличении концентрации молекулярных составляющих и в длительных периодах регистрации условия G на ионограммах среднеширотных станций. На трассах Магадан–Иркутск и Норильск–Иркутск наблюдалось изменение модовой структуры принимаемых КВ-радиосигналов.

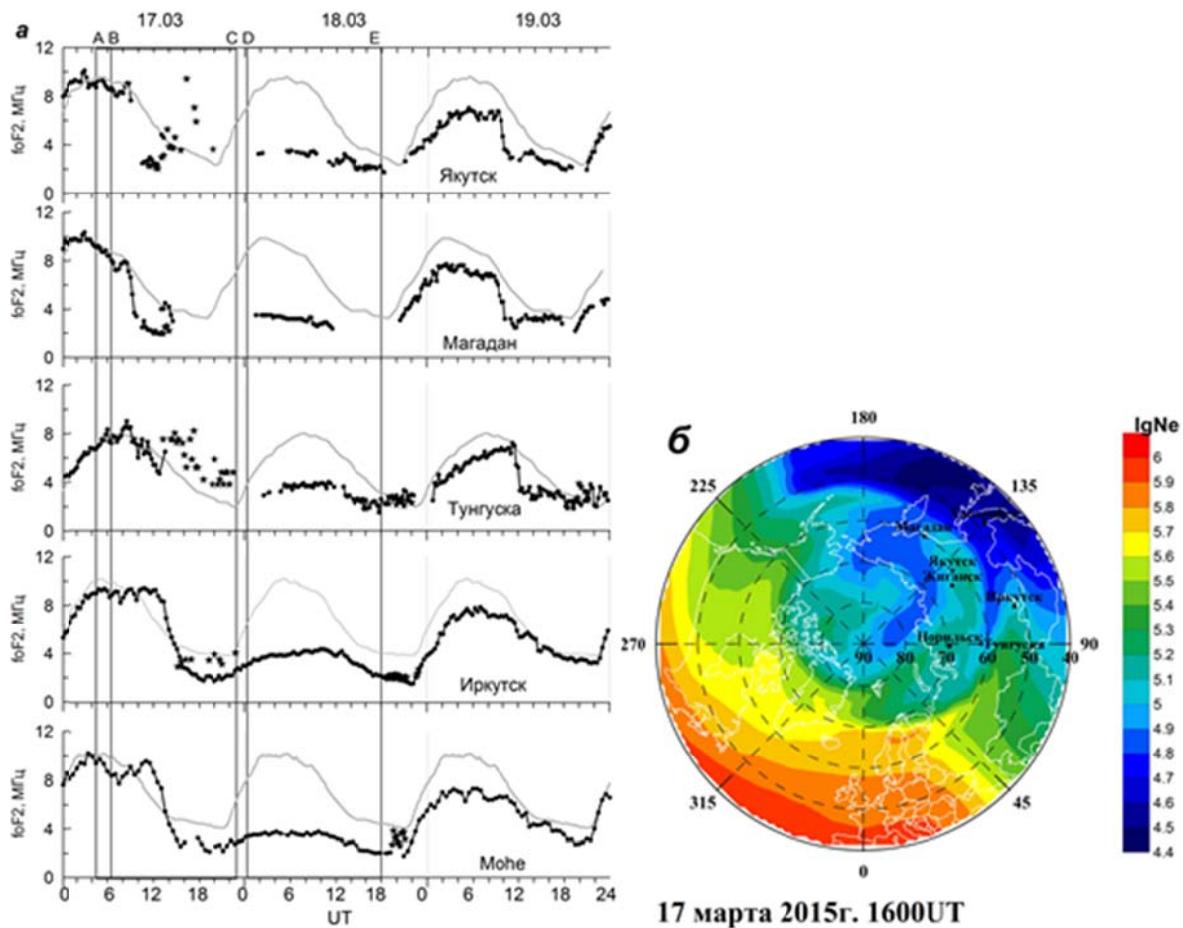


Рис. 103. Вариации критических частот (а) на ряде ионосферных станций 17–19.03.2015 г.: серая линия — фоновые значения, черная линия — текущие значения; звездочки —  $f_0Es$ . Вертикальные линии отмечают SSC (А); начало главной (В), ранней восстановительной (С) и поздней восстановительной (Д) фаз бури. Линия Е отмечает конец интервала относительно устойчивого роста SYM-H-индекса. Рассчитанное по модели распределение  $N_e$  (б) на высоте 300 км для 16:00 UT 17.03.2015 г.

### Публикации

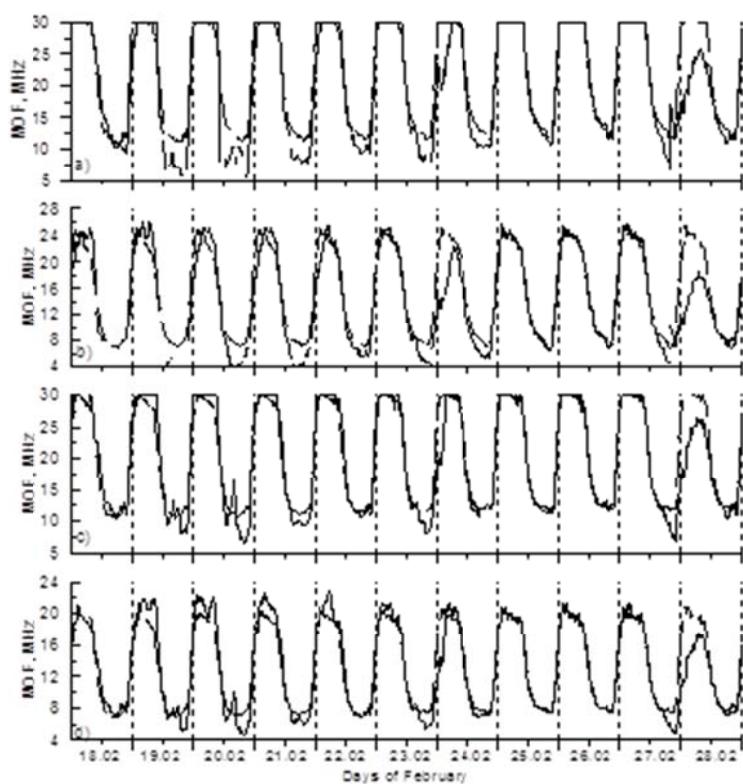
- Пономарчук С.Н., Полех Н.М., Романова Е.Б., Золотухина Н.А., Куркин В.И., Подлесный А.В. Возмущения ионосферного радиоканала в период магнитной бури 17–24 марта 2015 года // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXI Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2015. С. D163–D166.

- Пономарчук С.Н., Полех Н.М., Романова Е.Б., Золотухина Н.А., Куркин В.И., Подлесный А.В. Возмущения ионосферного радиоканала в период магнитной бури 17–24 марта 2015 года // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика ат-

### Эффекты космической погоды в КВ-распространении в магнитоактивный период в феврале 2014 г.

На основе данных вертикального и наклонного зондирования выполнен анализ характеристик КВ-распространения во время магнитоактивного периода 18–28 февраля 2014 г. Данные наклонного зондирования были получены на субавроральных и среднеширотных трассах: Магадан–Иркутск, Хабаровск–Иркутск, Хабаровск–Норильск, Магадан–Норильск. В этот период наблюдалось 12 рентгеновских вспышек разной интенсивности. Некоторые из них сопровождались выбросом корональной массы, усилением потоков солнечных протонов. Самая мощная интенсивностью X4.9/2B балла была зарегистрирована 25 февраля в 00:39 UT и вызвала уменьшение минимальных наблюдаемых частот на трассах Хабаровск–Иркутск и Магадан–Иркутск на 4–5 МГц (рис. 104). В исследуемый период наблюдались две магнитные бури разной интенсивности. Во время главной и восстановительной фаз первой бури наблюдались положительные возмущения днем и отрицательные ночью. Во время второй магнитной бури максимальные наблюдаемые частоты (МНЧ) на трассе Магадан–Иркутск резко снизились до 3–5 МГц. Интервалы низких значений МНЧ чередовались с отсутствием отражения на ионограммах. Это характерно для ситуации, когда стенка главного ионосферного провала смещается до широты средней точки трассы. Диффузные дополнительные сигналы с большой задержкой были зарегистрированы также на трассе Хабаровск–Иркутск.

Экспериментальные данные наклонного зондирования, полученные во время геомагнитно активного периода 18–28 февраля 2014 г., показали сложную картину влияния распределения электронной концентрации на формирование характеристик ионосферного радиоканала. Моделирование электронной концентрации позволило качественно объяснить наблюдаемые явления. Полученные результаты показали важность прогнозирования границ основных морфологических структур полярной ионосферы, определяющих характеристики распространения радиоволн.



*Рис. 104.* Вариации МНЧ на трассах Магадан–Иркутск (*a* — МНЧ1F, *b* — МНЧ12) и Хабаровск–Иркутск (*c* — МНЧ1F, *d* — МНЧ2F) 18–28 февраля 2014 г. Сплошные линии — текущие значения, штриховые — фоновые значения

### **Публикация**

Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Полех Н.М., Подлесный А.В., Золотухина Н.А., Романова Е.Б. Эффекты космической погоды в КВ-распространении в период солнечной вспышки 25 февраля 2014 года // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXI Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2015. С. D186–D190.

### **Исследование возникновения условия G в ионосфере различных широт в годы низкой солнечной активности**

На основе данных вертикального зондирования ионосферы, полученных на трех станциях, расположенных в высоких (Норильск,  $69.4^{\circ}$  N,  $88.1^{\circ}$  E), средних (Иркутск,  $52.5^{\circ}$  N,  $104^{\circ}$  E) и низких (Хайнань,  $18.3^{\circ}$  N,  $109.3^{\circ}$  E) широтах в годы низкой солнечной активности (2006–2009 гг.), проведен анализ появления условия G. Оно регистрируется в том случае, когда на ионограммах вертикального зондирования присутствует след отражения от области F1 и нет следа отражения от области F2, т. е. критическая частота слоя F2 ( $f_0F2$ ) меньше или равна критической частоте слоя F1 ( $f_0F1$ ). В ходе исследования получены следующие результаты.

1. Наибольшее количество случаев появления условия G над Иркутском в 2006–2009 гг. приходится на дневные часы в летние месяцы, в зимнее время они крайне редки и их появление связано с интенсивными магнитными бурями. В годы умеренной солнечной активности условие G наиболее часто наблюдается при  $K_p \geq 4$  в предполуденные часы, а в годы низкой солнечной активности — в спокойных геомагнитных условиях с максимумом появления, смещенным на послеполуденные часы. Наибольший процент появления условия G был зарегистрирован в летний период 2008 г., когда уровни солнечной и геомагнитной активности были аномально низкими.

2. Наибольшая относительная частота регистрации условия G наблюдается в Норильске. Со второй половины апреля по июль 2008 г. оно регистрировалось почти ежедневно практически независимо от уровня магнитной возмущенности (рис. 105). Наименьшее количество регистрации этого явления отмечено на Хайнане, оно наблюдалось не чаще 10–14 раз в году. На средних и низких широтах наиболее часто появление условия G обусловлено повышенной магнитной возмущенностью, хотя оно регистрировалось также и в спокойных геомагнитных условиях.

3. Длительность непрерывной регистрации условия G меняется в широких пределах: от интервала зондирования до нескольких часов. Самые продолжительные сеансы регистрации условия G (7–11 ч) наблюдаются в Норильске, в Иркутске они менее продолжительны (3–4 ч). На Хайнане наибольшая длительность составила 1.5 ч.

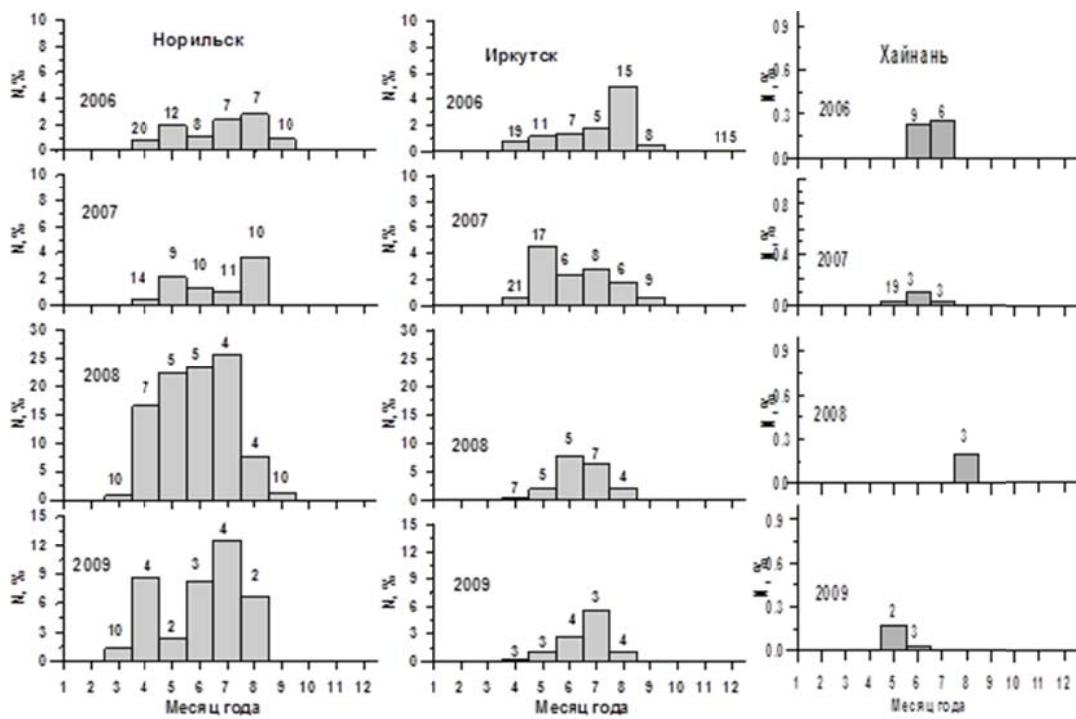


Рис. 105. Годовое распределение относительной частоты появления условия G для 2006–2009 гг. на разных станциях. Цифры на столбцах гистограмм показывают усредненные по интервалам регистрации условия G значения индекса  $A_p$

4. Моделирование параметров ионосферы над Иркутском и Норильском для случаев регистрации условия G в 2008 г. показало следующее:

- в утренние и околополуденные часы высота максимума ионизации может определяться высотой максимума молекулярных ионов, что соответствует появлению условия G на ионограммах вертикального зондирования (рис. 106).
- расчеты хорошо согласуются с экспериментальными данными по значению электронной концентрации и времени регистрации условия G в течение суток.
- изменения термосферных параметров (плотность, состав, температура) после 2007 г. были благоприятны для формирования условия G в геомагнитно-спокойной обстановке при низкой солнечной активности как на средних, так и на высоких широтах, т. е. эти изменения привели к уменьшению концентрации электронов в максимуме F2-слоя при относительно слабом изменении концентрации F1-слоя.

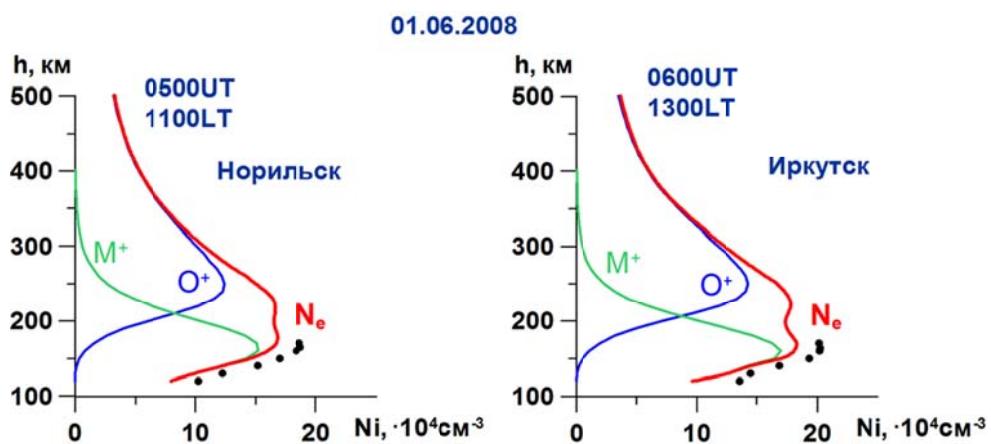


Рис. 106. Высотные профили  $Ne$ ,  $O^+$ ,  $M^+$  (цветные линии), рассчитанные по ионосферно-плазмосферной модели с коррекцией параметров нейтральной атмосферы для моментов времени, когда условие G регистрировалось на станциях Норильск и Иркутск. Темными кружками показаны измеренные высотные профили электронной концентрации  $N_e$

### **Публикация**

Polekh N.M., Romanova E.B., Ratovsky K.G., Shi J.K., Wang X., Wang G.J. Studying the G condition occurrence in different latitudes under solar minimum: Observation and modeling // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2015, V. 130–131, P. 132–141. DOI:10.1016/j.jastp.2015.06.001.

### **Разработка теоретических и эмпирических глобальных и региональных моделей нейтральной атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли**

#### **Исследование реакции эмиссий атомарного кислорода в линиях 557.7 и 630 нм на резкие изменения параметров плазмы солнечного ветра**

По данным измерений в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН изучен отклик эмиссий атомарного кислорода в линиях 557.7 и 630 нм на резкие вариации параметров плазмы солнечного ветра, вызванные распространяющимися по ней ударными волнами.

Показано, что для одних случаев наблюдалось одновременное увеличение обеих интенсивностей, тогда как для других случаев этого не происходило, независимо от амплитуды возмущений параметров солнечного ветра. Пример для двух событий 6 апреля 2000 и 24 января 2012 г. приведен на рис. 107, где представлены временные зависимости  $B_z$ -компоненты межпланетного магнитного поля, скорости ( $V_p$ ) и плотности ( $N_p$ ) протонов солнечного ветра,  $D_{st}$ -индекса и интенсивности эмиссий атомарного кислорода 630 и 557.7 нм для событий с внезапным началом магнитной бури (импульс SC). Вертикальными штриховыми линиями отмечены моменты внезапного начала магнитной бури. Видно, что для этих двух событий амплитуды возмущения соответствующих параметров окружающей среды имеют значения, близкие по величине, но увеличение интенсивности эмиссий зеленой и красной линий наблюдалось только 6 апреля 2000 г. Поведение интенсивностей этих эмиссий 24 января 2012 г. не зависело от возмущения в солнечном ветре.

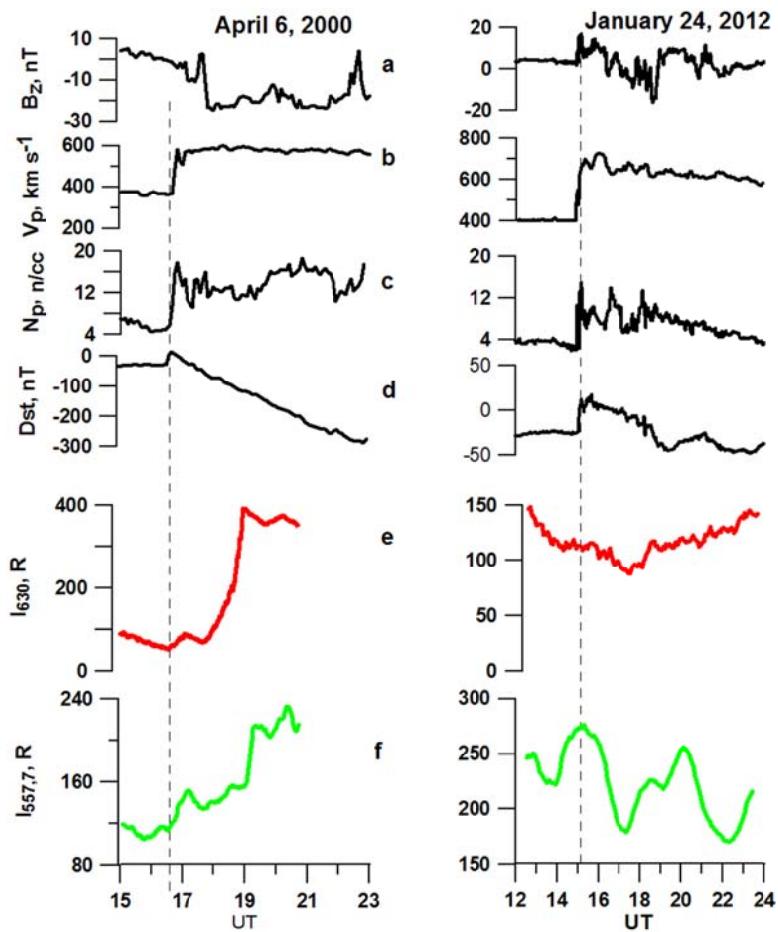


Рис. 107. Вариации параметров солнечного ветра и кислородных эмиссий во время событий 06.04.2000 и 24.01.2012 г.: a —  $B_z$ -компоненты ММП; b — скорость солнечного ветра; c — концентрация протонов солнечного ветра; d —  $D_{st}$ -индекс; e, f — эмиссии атомарного кислорода в линиях 630 и 557.7 нм

Сделано предположение, что увеличение интенсивностей эмиссий зеленой и красной линий атомарного кислорода во время внезапных импульсов солнечного ветра могло быть вызвано высыпанием низкоэнергичных электронов, захваченных на низкие L-оболочки во время предыдущего геомагнитного возмущения. Последующее высыпание электронов происходит вследствие их питч-углового рассеяния при взаимодействии с магнитозвуковыми волнами, возбуждаемыми в магнитосфере в моменты ее сжатия динамическими импульсами давления солнечного ветра.

### Публикации

1. Леонович Л.А., Ташилин А.В., Леонович В.А. Отклик эмиссий атомарного кислорода 557.7 и 630 нм на резкие вариации параметров солнечного ветра // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 3. С. 278–282. URL: <http://ao.iao.ru/ru/content/vol.28-2015/iss.03/12>.

2. Leonovich L.A., Tashchilin A.V., Leonovich V.A. Atomic oxygen green and red line emissions response to sudden impulses of the solar wind dynamic pressure // COSPAR Moscow 2014 Cosmos 40<sup>th</sup> Scientific Assembly Russia, Moscow, 2–10 August 2014. Abstract CD\_COSPAR-14/abstracts/C1.3-0039-14, TFS-S-126.

### Проявление сильных индукционных эффектов во время суббури в системе магнитосфера–ионосфера

На основе разработанного в ИСЗФ СО РАН метода техники инверсии магнитограмм (ТИМ), полученных на мировой сети наземных станций, построены карты распределения

продольных токов и электрических полей в полярной ионосфере с одноминутным разрешением для периода 2.5–5.0 UT 27 августа 2001 г., когда наблюдалась магнитная суббуря. Анализ полученных распределений позволил дать физическую интерпретацию данных наблюдений как индукционные свойства магнитосферы, которые проявляются в следующем.

1. Процессы накопления и выделения основной части магнитной энергии в магнитосфере реализуются в течение  $\sim 1$  ч в конце подготовительной и начале взрывной фаз суббури.

2. Эффективное сопротивление ионосферы, которое вначале испытывает регулярное плавное уменьшение, затем резко падает в начале взрывной фазы (см. рис. 108).

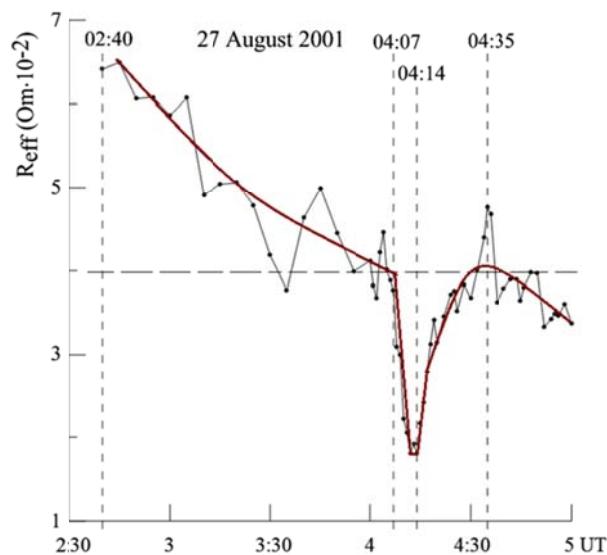


Рис. 108. Изменения эффективного сопротивления ионосферы  $R_{\text{eff}} = U_{\text{PC}}/I_{\text{R1}}$ , рассчитанные по одноминутным данным методом ТИМ (красная линия – сглаженная зависимость). Резкий спад – следствие высыпания электронов в ионосфере в начале взрывной фазы суббури

3. Не учитываемый ранее в теории суббурь эффект электромагнитной индукции проявляется в специфическом явлении, наблюдаемом как ослабление электрического поля и токов в полярной ионосфере в конце подготовительной фазы с последующим резким усилением в начале взрывной фазы суббури.

4. Индуктивность магнитосферы нарастает во время подготовительной фазы до уровня  $L \leq 240$  Гн и затем резко падает до значений  $L \geq 30$  Гн в начале взрывной фазы, что отражает соответствующие изменения длины хвоста магнитосферы в ходе суббури.

5. Значительное возрастание проводимости и спад индуктивности магнитосферы позволяет объяснить явление короткого замыкания в магнитосферно-ионосферной системе, ранее обнаруженное авторами в результате изучения данной суббури.

### Публикация

Mishin V.V., Mishin V.M., Lunyushkin S.B., Pu Z., Wang C. Strong induction effects during the substorm on 27 August 2001 // Earth, Planets and Space. 2015. V. 67. P. 162. DOI: 10.1186/s40623-015-0333-9.

### Явление насыщения магнитосферы во время супербурь

Получены новые закономерности процесса насыщения магнитного потока и потока Пойнティングа в магнитосферу из солнечного ветра (СВ) во время трех супербурь. Показано, что в дополнение к известному эффекту межпланетных электрического  $E_{\text{св}}$  и южного маг-

нитного  $B_z$  полей насыщение зависит от динамического  $P_d$  давления СВ. С использованием глобальной МГД-модели магнитосферы аналитически изучено другое явление насыщения магнитосферы – ее конечная сжимаемость. Показано, что замедление сжатия магнитосферы, как и описанные выше эффекты ее насыщения, обусловлены быстрым нарастанием давления геомагнитного поля при приближении к Земле, что вызывает быструю остановку магнитопаузы при ее сжатии, вызванном увеличением давления СВ и южного ММП.

### **Публикация**

Mishin V.V., Karavaev Yu.A., Han J.P., Wang C. The saturation effect of the Poynting flux into the magnetosphere during superstorms: Comparison of the results of MIT and the PPMLR model // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”: Proc. 2–6 March 2015. PGI-15-01-131. Apatity, 2015. P. 40–43.

### **Свойства длиннопериодных геомагнитных пульсаций, возбуждаемых фронтом мгновенного начала бури**

По данным разнесенной сети наземных станций исследован отклик магнитосферы в диапазоне длиннопериодных геомагнитных пульсаций во время начала бури 14 июля 2012 г. Показано, что от границ долготного сектора 9.20–11.30 MLT происходит распространение пульсаций в азимутальном направлении на утреннюю и вечернюю стороны с противоположным направлением поляризации и нарастанием амплитуды. Смещение на утреннюю сторону сектора относительно полудня определяется азимутальным углом наклона фронта возмущения солнечного ветра, инициирующего суббурю. Для изучаемых пульсаций, быстро затухающих в течение 1–3 колебаний, удалось обнаружить изменение направления поляризации при переходе от низких геомагнитных широт ( $\leq 30^\circ$ ) к субавроральным широтам ( $\geq 50^\circ$ ) на всей дневной стороне магнитопаузы.

### **Публикации**

1. Klibanova Yu.Yu., Mishin V.V., Tsegmed B., Moiseev A.V. Influence of slope of the solar wind inhomogeneity front on properties of long-period pulsations during SSC // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”: Proc. 2–6 March 2015. PGI-15-01-131. Apatity, 2015. P. 11–14.

2. Клибанова Ю.Ю., Мишин В.В., Цэгмэд Б. Свойства длиннопериодных пульсаций, возбуждаемых импульсами давления солнечного ветра // 10-я Российско-Монгольская конференция «Солнечно-земная физика и сейсмодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 20 сентября – 3 октября 2014 г.: Труды. Иркутск, изд-во Института земной коры СО РАН, 2015, С. 14–18.

### **4.6. Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве**

#### **Частотная модуляция серпентинной эмиссии**

Интерпретированы новые свойства серпентинной эмиссии (SE), впервые обнаруженной еще в начале 1970-х гг. по наблюдениям в южной полярной шапке Довбней и Гульельми. Излучения наблюдались часами, а иногда и днями в спокойных геомагнитных условиях в диапазоне частот Pc1–2 (0.1–5 Гц) и радикально отличались от известных ранее перманентных УНЧ-колебаний. Отличие состояло в том, что частота колебаний испытывала весьма глубокую модуляцию, изменяясь на одну–две октавы за время от нескольких минут до часа. Предполагается, что частотно-модулированные колебания проникают в полярные шапки из межпланетной среды, где они возбуждаются в виде ионно-циклотронных волн в результате неустойчивости плазмы с анизотропным распределением ионов по скоростям. Предложен способ проверки гипотезы о внemагнитосферном происхождении SE и обнаружено неизвестное ранее ее свойство, свидетельствующее в пользу

этой гипотезы. Оно состоит в том, что временами несущая частота колебаний испытывает ярко выраженную 5-минутную модуляцию. Судя по всему, 5-минутная модуляция SE генетически связана с 5-минутными колебаниями в солнечной фотосфере.

#### **Публикации**

1. Гульельми А.В., Потапов А.С., Довбня Б.В. О происхождении частотной модуляции серпентинной эмиссии // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 2. С. 85–90. DOI: 10.12737/9617.
2. Guglielmi A.V., Potapov A.S., Dovbnya B.V. Five-minute solar oscillations and ion-cyclotron waves in the solar wind // Solar Phys. 2015. V. 290. DOI: 10.1007/s11207-015-0772-2.

#### **Анализ корреляционных функций флюктуаций амплитуды и фазы квазипериодических колебаний**

Предложен новый способ обработки сигналов – метод корреляционных функций флюктуаций амплитуды и фазы сигнала (КФАФ). Он используется для обработки колебаний в моделях одномерного и двумерного прямоугольных резонаторов. Для всех случаев получено универсальное соотношение, которое устанавливает связь между периодом повторения пиков на функциях КФАФ и разностью соседних собственных частот в спектре сигнала. Показано, что для двумерной стоячей волны эта разность может иметь только два значения, каждое из которых соответствует собственным частотам одномерных стоячих волн. Предлагаемый метод позволяет обнаружить все возможные одномерные стоячие волны, которые могут возникать в исследуемом объекте.

#### **Публикация**

Поляков А.Р. Связь пиков корреляционных функций флюктуаций амплитуды и фаз и собственных частот в спектре колебаний // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 62–71.

#### **Изучение нелинейной эволюции локального вихря, возбуждаемого начальным возмущением температуры в устойчиво стратифицированном сдвиговом течении**

Течения, вызванные эффектами плавучести, встречаются в естественных условиях, но могут иметь и техногенное происхождение. Настоящая работа является обобщением начатого авторами ранее исследования на случай, когда начальное возмущение температуры достаточно сильное и в отличие от линейного случая, рассмотренного ранее, эволюция носит нелинейный характер. Для решения задачи используется так называемый Analytical-Based Numerical Method — численный метод, разработанный авторами для исследования эволюции компактных вихревых возмущений в сдвиговых течениях.

Изучена пространственно-временная эволюция вихря в зависимости от соотношений между различными управляющими параметрами (начальная амплитуда возмущения температуры, сдвиг скорости течения, частота Брента–Вайсяля, вязкость, теплопроводность).

Выявлена роль нелинейности в характере эволюции. Показано, в частности, что в отличие от линейной эволюции, в которой отсутствуют перемещения возмущения в вертикальном направлении и вдоль течения как целого, нелинейная эволюция приводит (помимо деформации возмущения) к общему подъему вихря и его горизонтальному смещению.

#### **Публикация**

Tewner S., Cohen J., Shukhman I.G. Vortical disturbances in a linearly stratified linear shear flow. II. Nonlinear evolution // Phys. Fluids. 2015. V. 27. 024104.

#### **Обобщение одной из классических задач теории устойчивости гравитирующих систем**

Рассматривается одна из классических и часто цитируемых работ (1973) известного ленинградского специалиста в области звездной динамики В.А. Антонова, где впервые была доказана возможность существования в звездных системах так называемой неустойчивости радиальных орбит. Автором было установлено и не вызывало сомнений, что в сферических звездных самогравитирующих системах с радиальными орбитами звезд имеет место неустойчивость относительно возмущений, приводящая к искажению сферической формы системы. Несмотря на это, доказательство, приведенное в работе, содержало сомнительные моменты и оставляло у читателя чувство неудовлетворенности. Цель данной работы — решить задачу заново, устранив сомнительные моменты, присутствующие в доказательстве Антонова. В нашем подходе задача Антонова об устойчивости бесстолкновительной сферы с чисто радиальным движением звезд рассматривается как предел задачи, в которой звезды движутся по почти радиальным орбитам. В этом состоит отличие от постановки Антонова, где сразу рассмотрен случай системы с чисто радиальными орбитами. Аккуратный переход к пределу позволил устраниТЬ ряд сомнительных мест, фигурирующих в первоначальной постановке задачи. Попутно выведены корректные предельные уравнения, учитывающие особенность в распределении плотности в центре сферы, и даны их решения. Показано, что неустойчивость имеет место для четных и нечетных сферических гармоник. Инкременты нарастания апериодических четных мод неограниченно увеличиваются при стремлении к чисто радиальным моделям (рис. 109). Заново обсуждается вопрос о физике неустойчивости радиальных орбит.

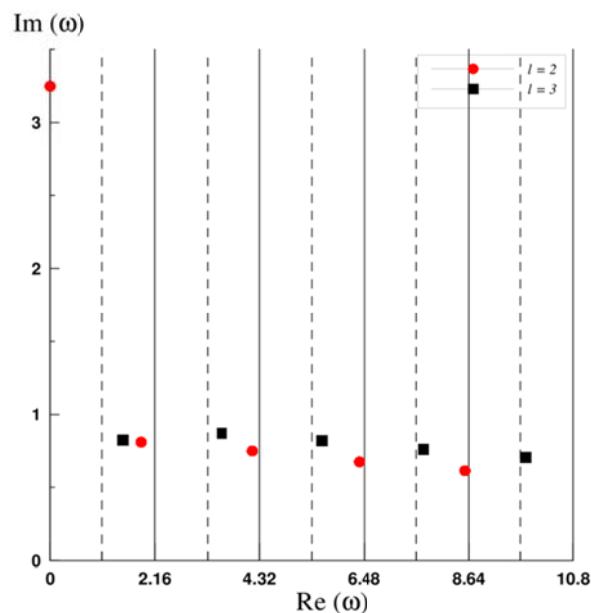


Рис. 109. Инкременты неустойчивости радиальных орбит для двух нерадиальных мод,  $l=2$   $l=3$  для системы с почти радиальными орбитами (параметр “размазки” по угловому моменту  $L$  равен 0.01). Индекс  $l$  означает номер полинома Лежандра в возмущении плотности  $\sim P_l(\cos\theta)$ . Видно, что четная мода,  $l=2$ , ответственная за бароподобное изменение сферической формы, системы имеет наибольший инкремент, причем, неустойчивость носит апериодический характер. Для нечетных мод неустойчивость носит осциллирующий характер (реальная часть частоты не равна нулю)

### Публикация

Polyachenko E.V., Shukhman I.G. On the nature of the radial orbit instability in spherically symmetric collisionless stellar systems // Mon. Not. R. Astron. Soc. 2015. V. 451. P. 5120–5129.

**Исследование устойчивости трехслойного сдвигового течения без точек перегиба на профиле скорости с учетом резонансного взаимодействия волна–течение**

Исследована устойчивость течений со ступенчатой стратификацией плотности и произвольным монотонным ограниченным профилем скорости  $V_x = U(z)$  без точек перегиба на примере течений с двумя скачками плотности на высоте  $z = z_1$  и  $z = z_2$  (квадрат частоты плавучести  $N^2 = J [p_1\delta(z - z_1) + p_2\delta(z - z_2)]$ ,  $p_1 + p_2 = 1$ ) (рис. 110). Показано, что в таких течениях есть две моды собственных колебаний – быстрая и медленная, неустойчивость которых наступает при сколь угодно малом числе Ричардсона  $J > 0$ . С ростом  $J$  фазовые скорости мод увеличиваются. После достижения максимальной скорости течения (т. е. выхода из фазового резонанса с течением) колебание становится нейтрально устойчивым, а его скорость продолжает расти с  $J$ . Подробно исследованы конфигурация области неустойчивости и поведение инкремента каждой моды в зависимости от  $J$  и длины волны, а также относительной величины скачков плотности и расстояния между ними. Обсуждается возможность обобщения полученных результатов на течения с любым числом скачков плотности.

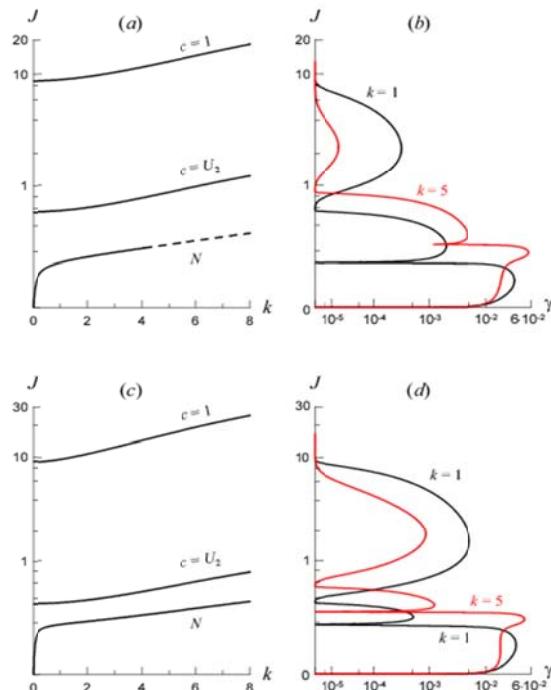


Рис. 110. Течение  $U = 1 - e^{-z}$ ,  $z_1 = 0.3$ ,  $z_2 = 0.6$ : области неустойчивости (*a*, *c*) медленной моды и зависимости инкремента  $\gamma$  от числа Ричардсона  $J$  (*b*, *d*) при значениях волнового числа  $k = 1$  и  $k = 5$  в случае  $p_1 = 0.5$  (верхний ряд) и  $p_1 = 0.8$  (нижний ряд);  $c = 1$  — верхняя граница области неустойчивости,  $c = U_2 = U(z_2)$  и  $N$  — нейтральные кривые.

### Публикация

Churilov S.M. Linear stability of a shear flow with multilayered density stratification and monotonic inflection-free velocity profile // Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics (in print).

### Волна над источником в теплопроводной атмосфере

Разработан метод построения волнового решения над атмосферным источником, дающий адекватное описание волнового возмущения по всей высоте атмосферы, рассматриваемой в широком смысле, т. е. с включением ионосферы. Основной целью применения такого метода является описание ионосферных возмущений как проявлений возмущений нейтральной атмосферы. В частности, достаточно давно существует концепция, согласно которой перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ) являются следствием просачивания возмущений из нижних волноводных каналов для ВГВ-мод. Ионосферные возмущения, в свою очередь, могут вызывать магнитосферные возмущения – в таком случае получаемое в работе решение должно стать частью единого волнового возмущения во всей околосземной среде.

Спецификой волнового распространения на ионосферных высотах является то об-

стоятельство, что диссипативное воздействие на волновые процессы становится доминирующим. Это приводит к невозможности игнорирования и даже приближенного учета высших порядков производных в диссипативных членах общей системы волновых уравнений, и, как следствие, к существенному усложнению задачи. Согласно предложенному в работе методу, решение находится посредством соединения трех решений для трех областей атмосферы: аналитического решения для верхней части, рассматриваемой в рамках изотермического приближения и численных решений для реальной неизотермической диссипативной атмосферы в средней части и реальной неизотермической в рамках приближения малой диссипации в нижней. На основе предложенного в работе метода разработан алгоритм и соответствующий код для расчета решения над источником, учитывающего по всей атмосфере диссипацию за счет конечной теплопроводности. В контексте задачи построения единого решения для всей атмосферы также исследованы возможности различных способов описания волновых возмущений в каждом из высотных диапазонов атмосферы. Расчитаны зависимости от параметров волны таких характеристик волнового распространения как высота области сильной диссипации в верхней атмосфере и показатель суммарного вертикального поглощения в областях слабой и средней диссипации. Проведены тестовые расчеты для изотермической атмосферы и расчеты для реальной атмосферы. На рис. 111 показаны результаты расчета высотной структуры решения над источником для реальной неизотермической атмосферы с высотной зависимостью температуры согласно модели NRLMSISE-2000 с географическими координатами Иркутска (местный полдень, зима). Модули температуры, плотности и давления, отнесенные к соответствующим фоновым значениям, обозначены соответственно:  $\Theta$ ,  $n$ , и  $f$ ;  $u$ ,  $v$  — горизонтальная и вертикальная компоненты скорости, отнесенные к скорости звука. Как видим, особенностью решения над источником является наличие протяженного хвоста, формально неограниченно уходящего в область изотермической атмосферы, включающей ионосферу.

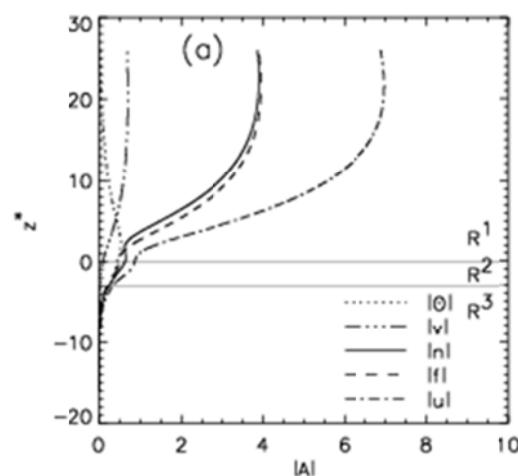


Рис. 111. Структура решения над источником для реальной неизотермической атмосферы с высотной зависимостью температуры согласно модели NRLMSISE-2000

Существенным обстоятельством является то, что экспоненциальный рост относительных величин волны вследствие действия диссипации на некоторой высоте сменяется их убыванием. Это дает возможность волне оставаться в рамках линейного описания во всей области ее существования.

### Публикация

Руденко Г.В., Дмитриенко И.С. Волна над источником в теплопроводной атмосфере // Солнечно-земная физика. 2015. Т.1, № 4. С. 51–70.

**Объяснение пульсаций Pi2 в авроральной зоне: азимутальное распространение ионосферных токовых петель**

Обсуждены некоторые особенности колебаний Pi2 в космическом пространстве и на Земле преимущественно в зоне полярных сияний. Первоначальные колебания связаны с колебаниями резонатора, локализованного в магнитосфере, а последующие связаны с переходными токами в ионосфере. Показано, что наземные проявления колебаний (эллиптичность и направление главной оси эллипса поляризации) пульсаций Pi2 в ночном секторе магнитосферы от авроральной зоны до средних широт можно объяснить переносом вдоль магнитных силовых линий поляризации магнитосферных колебаний через основную и третью гармоники стоячих альфеновских волн. Наблюдения наземной поляризации колебаний, напротив, объясняются распространением кольцевых ионосферных токов в авроральной зоне в долготном секторе протяженностью 1000 км. Один из рассмотренных примеров описывает колебания, распространяющиеся на восток в утреннем секторе и на запад в вечернем секторе. Распространение кольцевых токов, генерирующих колебания с наблюдаемой наземной поляризацией Pi2, согласуется с распространением вихревых полярных сияний, наблюдавшихся камерой всего неба (рис. 112).

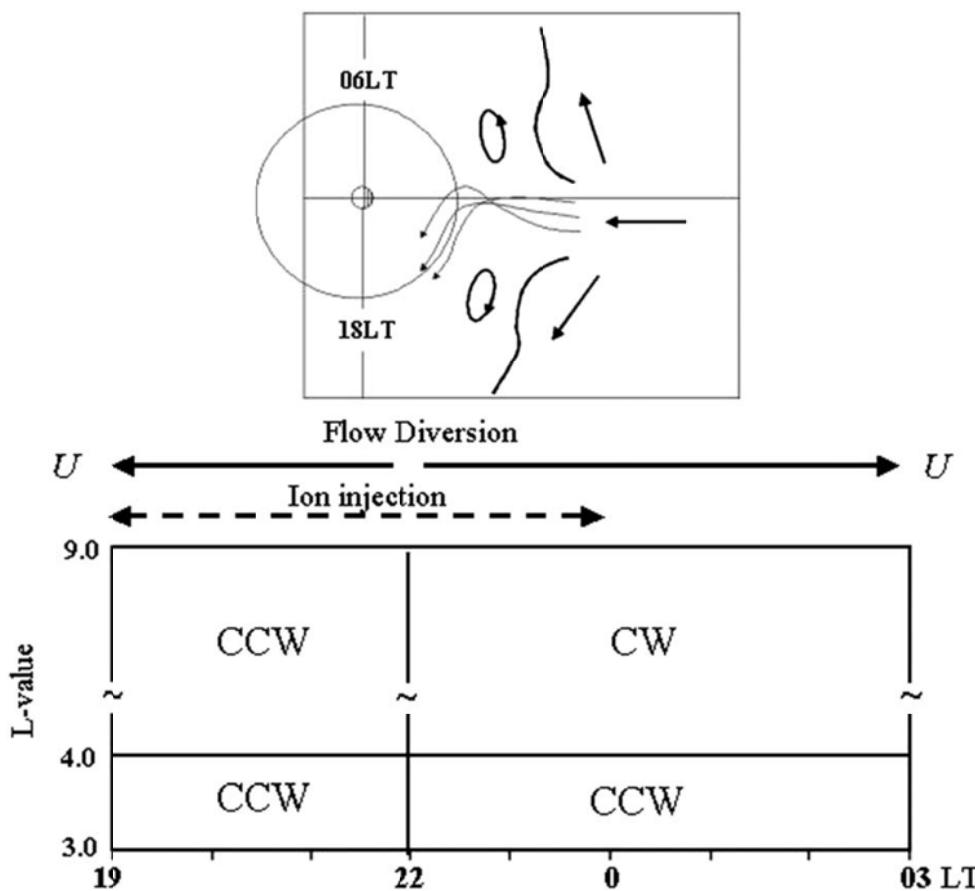


Рис. 112. Распространение ионосферных кольцевых токов и вихревых полярных сияний, связанных с колебаниями Pi2, в магнитосфере и в ионосфере

#### Публикация

Saka O., Hayashi K., Leonovich A.S. Ionospheric loop currents and associated ULF oscillations at geosynchronous altitudes during preonset intervals of substorm aurora // J. Geophys. Res. Space Physics. 2015. V. 120. P. 2460–2468. DOI: 10.1002/2014JA020842.

#### МГД-волновод во внешней магнитосфере и механизмы его возбуждения

Неоднородность геомагнитного поля и плазмы во внешней приэкваториальной части магнитосферы обеспечивают существование канала низких значений альфвеновской скорости, протянувшегося от лобовой области до далеких флангов как в утреннем, так и в вечернем секторах. Этот канал играет роль волновода для быстрых магнитозвуковых волн (рис. 113).

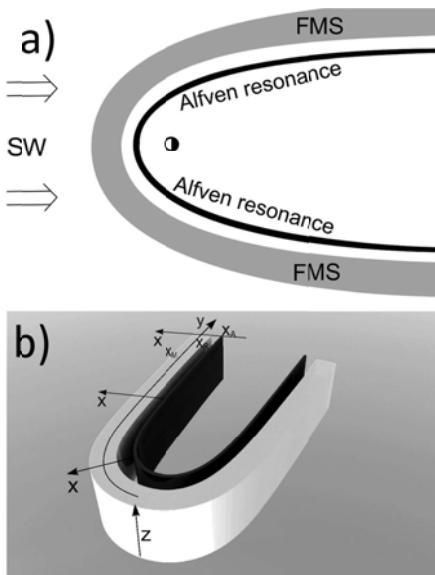


Рис. 113. Экваториальное сечение МГД-волновода (a). Область прозрачности для БМ3-волн показана серым. Тонкая черная кривая — область альфвеновского резонанса, стрелки — направление распространения солнечного ветра. Двумерно-неоднородная модель среды (b), используемая в работе:  $x_m$  — координата магнитопаузы,  $x_R$  — внутренняя точка отражения БМ3,  $x_A$  — координата альфвеновского резонанса. Геомагнитное поле направлено по оси Z

Собственные моды этого волновода, а также порождаемые ими области альфвеновского резонанса имеют прямое отношение к геомагнитным пульсациям Pc3 и Pc5. В работе теоретически исследуется влияние продольной (азимутальной) неоднородности волновода на распространение колебаний вдоль него. Применение метода двух масштабов позволяет свести решение двумерной задачи к последовательному решению двух одномерных задач и дать аналитическое решение проблемы. Настоящая работа, рассматривающая МГД-волновод во внешней магнитосфере, является первым, но необходимым шагом. В следующей работе мы рассмотрим механизмы возбуждения волновода неустойчивостью Кельвина–Гельмгольца на магнитопаузе, а также колебаниями, проникающими из солнечного ветра. Это позволит описать глобальную структуру колебаний Pc3 и Pc5 в магнитосфере.

### Публикация

Мазур В.А., \*Чуйко Д.А. МГД-волновод во внешней магнитосфере и механизмы его возбуждения // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1. № 1. С. 36–55.

### Экспериментальное подтверждение существования дрейфово-компрессионных волн в магнитосфере по данным Екатеринбургского когерентного декаметрового радара

Исследовано волновое УНЧ-событие в диапазоне геомагнитных пульсаций Pc5, зарегистрированное с помощью Екатеринбургского когерентного декаметрового радара (радар ЕКВ) 26 декабря 2014 г. в ночной магнитосфере во время суббуровой активности. Наблюдение магнитосферных УНЧ-волн с помощью радара базировалось на анализе расстояния на неоднородностях F-слоя ионосферы: по доплеровскому смещению определяются скорости этих неоднородностей (рис. 114), возникающие в результате электрического

дрейфа ионосферной плазмы в магнитном поле, и далее вариации этих скоростей ассоциируются с электрическим полем магнитосферных УНЧ-волн. При анализе зарегистрированного волнового события показано, что направление распространения волны совпадает с направлением дрейфа энергичных протонов в магнитосфере. При этом найдена положительная корреляция (около 0.9) между частотой волны  $f$  и модулем азимутального волнового числа  $m$ . Это означает, что имеется зависимость  $f(m)$  (рис. 115). Из известных видов волн в магнитосфере, соответствующих диапазону геомагнитных пульсаций Pc5, только дрейфово-компрессионная мода имеет такую азимутальную дисперсию.

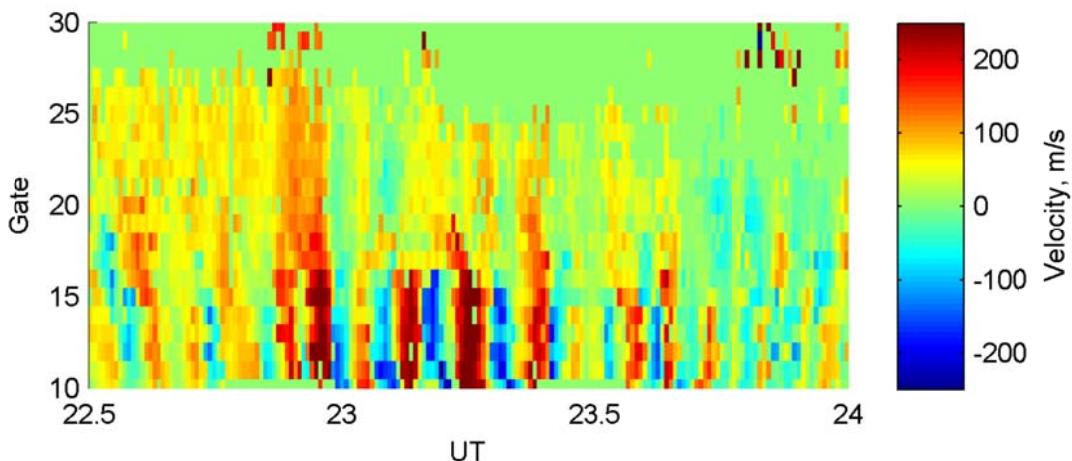


Рис. 114. Скорости неоднородностей F слоя ионосферы, измеренные 26 декабря 2014 г. с помощью радара ЕКВ

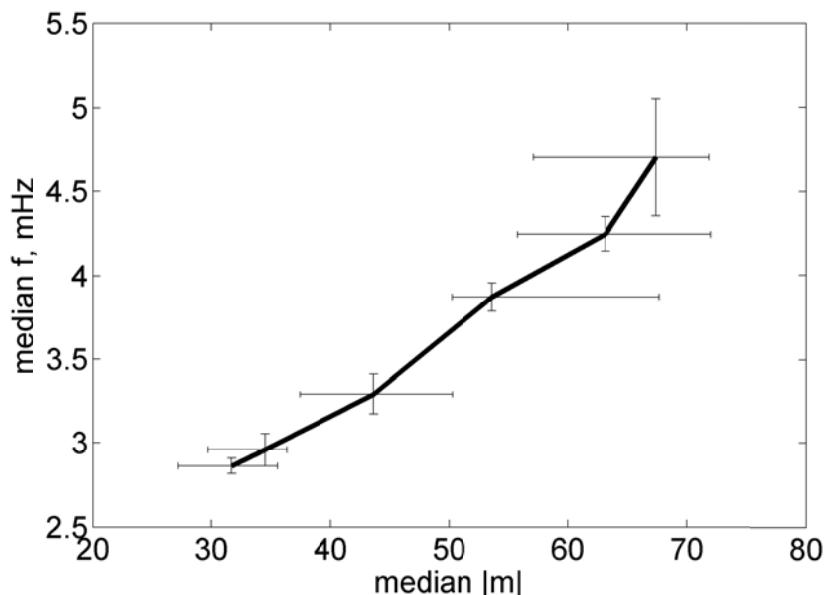


Рис. 115. Зависимость частоты волны  $f$  от модуля азимутального волнового числа  $m$  (медианные значения). Отрезками показаны значения верхней и нижней квартилей для обеих переменных

### Публикация

Chelpanov M.A., Mager P.N., Klimushkin D.Yu., Bergardt O.I., Mager O.V. Experimental evidence of drift compressional waves in the magnetosphere // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. 8–12 June 2015, Irkutsk, Russia: Book of Abstracts. P. 18.

### 4.7. Исследование и мониторинг магнитосферно-ионосферных возмущений с использованием пространственно-разнесенных геофизических комплексов

В обсерваториях Института проводится круглогодичный, круглосуточный мониторинг следующих параметров околоземного космического пространства:

- геомагнитное поле Земли в различных диапазонах частот;
- ионосфера в средних и авроральных широтах;
- атмосферное электричество;
- ПЭС по данным геостационарных спутников;
- инфразвук;
- полярные сияния в авроральных и средних широтах.

Мониторинг параметров электрического магнитного поля Земли (ЭМПЗ) в различных диапазонах частот проводится в Магнитной обсерватории «Иркутск» (п. Патроны), БМТО «Узур» (оз. Байкал), ССО «Монды», ГФО «Торы», на Норильской КМИС. Функционирует следующая геофизическая аппаратура.

*Вариационные измерения:*

- трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-018;
- трехкомпонентная станция «Кварц»;
- трехкомпонентная магнитовариационная станция NVS;
- цифровая трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-008;
- аналоговая станция «Кварц» на основе датчиков Боброва с выходом на ПК.

*Абсолютные измерения магнитного поля Земли:*

- оверхаузеровский протонный магнитометр полного вектора POS-1;
- феррозондовый деклинометр-инклинометр MAG-01Н THEO 015 В для регистрации наклонения и склонения ЭМПЗ.

Данные вариаций геомагнитного поля проходят следующие этапы получения и обработки (на примере магнитной обсерватории «Иркутск»):

1. Регистрация ЭМПЗ магнитометрами Lemi-018 и POS-1 осуществляется в цифровом виде, кварцевыми магнитометрами «Кварц» и «МВС» — в аналоговом. Магнитометры расположены в абсолютном и вариационном павильонах в 50 и 100 м от технического павильона.

2. Передача данных в технический павильон, оцифровка данных кварцевых магнитометров, формирование первичных файлов секундных значений.

3. Обнаружение и интерполяция сбоев секундных данных.

4. Формирование одноминутных данных с помощью фильтра Гаусса.

5. Сопоставление минутных вариаций и абсолютных значений, полученных по результатам абсолютных наблюдений на деклинометре-инклинометре. Определение базисных значений, получение абсолютных рядов наблюдений.

6. Формирование файлов данных для отправки в Интермагнет и на ftp-сервер ИСЗФ СО РАН.

7. Отправка файлов на <ftp://ftp.iszf.irk.ru/magnit/tool3/>.

8. В автоматическом режиме данные из последних файлов выставляются на сайте ИСЗФ СО РАН <http://magnit.iszf.irk.ru/index.php?page=patron1>.

*Наблюдения геомагнитных пульсаций:* трехкомпонентный индукционный магнитометр Lemi-30 (частотный диапазон 0–30 Гц).

На БМТО «Узур» функционирует универсальная многокомпонентная станция Lemi-418, которая производит регистрацию вариаций магнитного поля Земли в частотном диапазоне 0–1 Гц (трехкомпонентный феррозонд); трехкомпонентные измерения магнитных составляющих геомагнитных пульсаций (индукционный нанотесламетр, частотный диапазон 0.001–200.0 Гц); измерения земных токов в частотном диапазоне 0.001–200 Гц (три компоненты  $E_{c-10}$ ,  $E_{b-3}$ ,  $E_z$ ).

Ежедневно данные о магнитном поле Земли передаются на сервер Института по каналам интернета.

*Ионосферные наблюдения*

В ИСЗФ СО РАН непрерывный мониторинг состояния ионосферы ведется с помощью цифровых ионозондов DPS-4, расположенных в Норильске ( $69.4^{\circ}$  N,  $88.1^{\circ}$  E) и Иркутске ( $52.3^{\circ}$  N,  $104.3^{\circ}$  E).

Ионозонд DPS-4 является одним из наиболее современных и распространенных средств радиозондирования ионосферы.

DPS-4 состоит из основного блока, монитора, двух передающих антенн, четырех приемных антенн, GPS-приемника и блока батарей резервного питания.

Станция позволяет получать полную информацию о следующих параметрах ионосферы:

- амплитуда (максимальное разрешение 3/4 дБ);
- фаза (максимальное разрешение 2 пк/256 рад);
- задержка (максимальное разрешение 16.66 мкс);
- доплеровский сдвиг частоты (максимальное разрешение 0.024 Гц);
- вертикальный угол прихода;
- азимутальный угол прихода.

Диагностика ионосферы состоит из восстановления профиля электронной концентрации на основе обработки ионограмм и измерения скорости дрейфа ионосферной плазмы на основе измерения характеристик сигналов, отраженных от ионосферных неоднородностей.

**Мониторинг параметров атмосферного электричества** осуществляется на разработанном в институте и здесь же изготовленном флюксметре. Сеть таких приборов установлена и функционирует на обсерваториях института: Иркутск, БМТО «Узур», ГФО «Торы», ССО «Монды». Этот прибор производит мониторинг электрического потенциала в приземном слое воздуха, а также величину электрического тока в атмосфере.

**Мониторинг полного электронного содержания (ПЭС)** проводится по данным сигналов геостационарных спутников, приемные станции расположены в пунктах Монды (MOND) Максимиха (MKSM), Институт (ISTP), Листвянка (LIST), Усолье-Сибирское (ORDA), БМТО «УЗУР» (UZUR), Сарма (SARM), ГФО «Торы» (TORY) (карта на рис. 116), а также на Норильской КМИС ИЗСФ СО РАН.

Станции сети ИСЗФ СО РАН 2015 г.

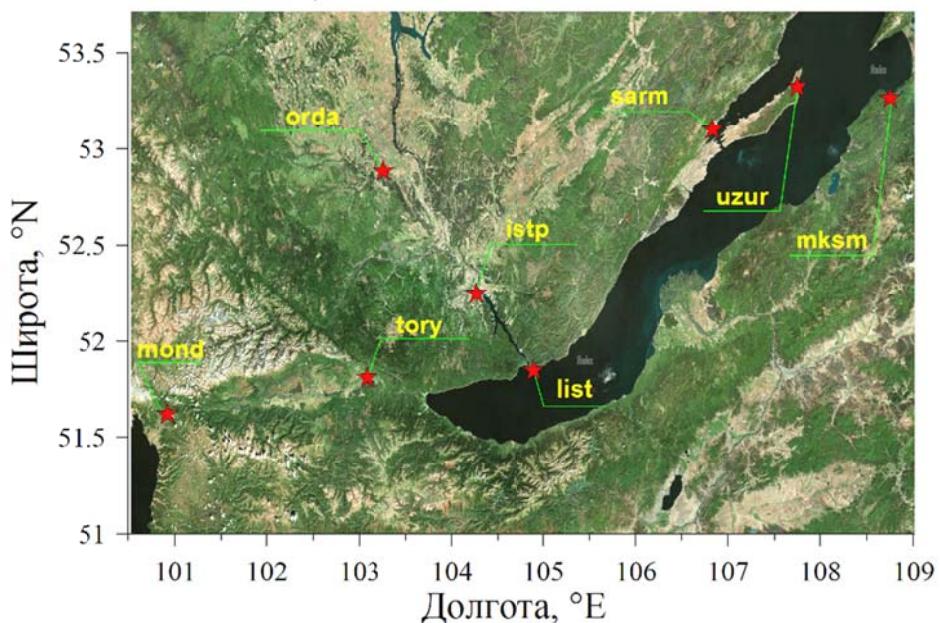


Рис. 116. Сеть ИСЗФ СО РАН двухчастотных геодезических пунктов ГНСС-измерений по состоянию на 2015 г.

Для приема сигналов со спутников GPS/ГЛОНАСС в обсерваториях установлены

двухчастотные приемники Javad Delta-G3T, модифицированные для проведения амплитудных измерений. Приемник работает в комбинации с антенной RingAnt-G3T. Для монтажа антенны в горизонтальном положении во всех обсерваториях Института используется специальная двухпластинная конструкция.

Приемники обеспечивают кодовые, фазовые и амплитудные измерения на частотах L1 и L2 одновременно по всем находящимся в зоне видимости спутникам GPS, ГЛОНАСС, GALILEO. Данные измерений приемника поступают непосредственно в управляющий компьютер, где производится их запись и временное хранение. В качестве управляющего компьютера используется компактная модель Nettop Intel D525MW. Связь с управляющим компьютером осуществляется по интерфейсу USB. На управляющем компьютере установлена ОС Linux Ubuntu 11.10. Для управления работой приемника, получения данных с приемника и записи их на жесткий диск управляющего компьютера используется разработанный комплекс Linux-программ.

#### *Мониторинг параметров инфразвука*

С этой целью в Геофизической обсерватории (ГФО, 51.79° N, 103.09° E) ИСЗФ СО РАН ведется регистрация инфразвуковых сигналов имеющих как естественную, так и техногенную природу. Регистрация инфразвуковых сигналов ведется с помощью трехпозиционной станции, оснащенной микробарографами ИСЗФ. Разработанные в ИСЗФ микробарографы позволяют выделить когерентные инфразвуковые сигналы от удаленных источников (микробаромы, болиды) и сигналы местной техногенной природы. Это дает возможность оценить региональный инфраакустический фон, его интенсивность и режим работы источников.

#### *Аппаратура и методика регистрации инфразвука*

Инфразвуковая станция ИСЗФ СО РАН предназначена для мониторинга инфразвуковых сигналов в атмосфере и расположена в 150 км от Иркутска на территории ГФО.

Станция оснащена инфразвуковой аппаратурой, установленной в трех выносных павильонах с апертурой 500 м и представлена блоками инфразвуковых микробарографов, разработанных в ИСЗФ СО РАН, устройством калибровки пистонфонного типа и системой шумоподавления в виде двухдюймовой трубной линии длиной 60 м с 20 входными капиллярами. Инфразвуковая информация передается в центральный пункт для регистрации посредством кабельных линий. Регистрирующая часть сопряжена с 12-разрядным дифференциальным аналогоцифровым преобразователем. Основные характеристики инфразвуковых микробарографов с усилителем следующие: динамический диапазон 80 дБ; полоса частот 0.02–1 Гц; собственный шум 0.01 мкбар; чувствительность 0.05 В/мкбар.

#### *Мониторинг светимости ночного неба*

В 2014 г. был приобретен комплекс для регистрации спектрального состава излучения ночной атмосферы Shamrock-303i. В существующей комплектации спектрограф Shamrock-303i позволяет проводить автоматические измерения в спектральном диапазоне 500–900 нм с хорошим спектральным и времененным разрешением. При приобретении дополнительного приемника излучения и установки автоматического барабана фильтров регистрируемый спектральный диапазон расширяется до 400–1400 нм.

Для проверки работоспособности, создания и отладки методики измерения и системы предварительной обработки и передачи данных прибор был запущен в опытную эксплуатацию в ГФО. В период опытной эксплуатации прибор работал в следующей конфигурации.

1. Базовый блок спектрографа SR-303i-B, фокусное расстояние 303 мм, относительное отверстие 1:4, два выхода для фоточувствительных узлов;

2. Автоматическая поворотная турель для смены дифракционных решеток;

3. Автоматическая входная щель;

4. Автоматический затвор;
5. Обрезающий фильтр СЗС-24;
6. Дифракционные решетки
  - SR3-GRT-0600-1200 (600 штр/мм, блеск 1200 нм),
  - SR3-GRT-1200-0500 (1200 штр/мм, блеск 500 нм),
  - SR3-GRT-2400-0300 (2400 штр/мм, блеск 300 нм);
7. Фоточувствительный узел Andor DU420A-BV, интерфейс USB, формат 1024×256 пикселей, размер пикселя 26×26 мкм, минимальная температура –100 °C.
8. Программный пакет управления оборудованием, сбора и обработки данных Solis.
9. Для экспериментальных наблюдений на основе программного пакета Solis была разработана программа, позволяющая вести наблюдения в автоматическом режиме.

На рис. 117 показан общий вид спектрометра во время опытной эксплуатации в ГФО.



Рис. 117. Общий вид прибора во время опытной эксплуатации в ГФО

Во время опытной эксплуатации прибор работал круглосуточно. Параметры регистрации (экспозиция и ширина входной щели) изменялись автоматически в зависимости от времени суток. В темное время суток измерения проводятся в следующей конфигурации:

- Дифракционная решетка SR3-GRT-1200-0500 (1200 штр/мм, блеск 500 нм).
- Ширина входной щели 200 мкм.
- Ориентация и поле зрения прибора примерно соответствует спектрографу САТИ-1М (<http://atmos.iszf.irk.ru/tu/data/spectr>), ориентирован на север с зенитным углом ~60°, поле зрения ~25° вдоль входной щели и ~0.5° поперек.
- Полный вертикальный биннинг.
- Серия из 30 кадров с экспозицией 1 с. Кадры серии суммируются.
- Обрезающий фильтр СЗС-24.

Полный рабочий спектральный диапазон составляет 492–896 нм. Одновременно регистрируется спектральный диапазон шириной ~60 нм. Полный спектральный диапазон регистрируется за 8 этапов.

Установка и запуск в эксплуатацию вновь приобретенного или модернизированного в соответствии с современными требованиями научного оборудования позволяют проводить эксперименты по исследованию магнитосферно-ионосферных взаимодействий на самом современном уровне. К сожалению, отсутствие достаточного финансирования не позволяет осуществлять запланированные эксперименты в полном объеме.

## Разработка структуры и состава измерительного комплекса для регистрации АГВ-сигналов в пограничном слое атмосферы включая источники естественной и техногенной природы

Инфразвуковая станция ИСЗФ расположена на территории Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. Местность прилегает к западной части Байкальской рифтовой зоны и относится к разряду очень активной сейсмической зоны. Например, в январе 2015 г. в районе Байкала произошло более 10 землетрясений умеренной силы. В то же время в зимний сезон этот район является благоприятным для наблюдения низкочастотных акустических сигналов из-за низкого уровня атмосферных шумов. Известно, что сейсмический процесс часто сопровождает акустическое излучение в инфразвуковом диапазоне частот. Впервые это со всей очевидностью проявилось при сильнейшем землетрясении на Аляске в 1964 г. Данные обстоятельства послужили основанием для разработки структуры инфразвуковых наблюдений и состава необходимого оборудования.

Структура измерительного комплекса построена по принципу действия трехэлементного интерферометра. Комплекс позволяет отслеживать и регистрировать эффект прохождения интерференционного волнового процесса над установленной аппаратурой.

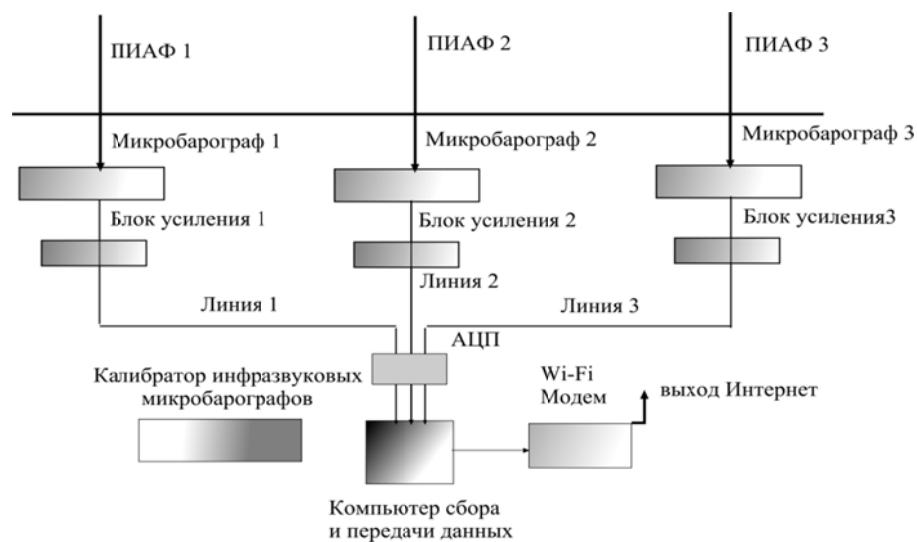


Рис. 118. Структура и состав оборудования измерительного комплекса для регистрации акусто-гравитационных волн

Состав комплекса (рис. 118): 3 инфразвуковых датчика-микробарографа, 3 пространственных фильтра ПИАФ, 3 электронных блока (усилитель инфразвуковых сигналов), кабельная линия 1500 м П-274 для передачи сигнала постоянного тока, аналого-цифровой преобразователь LA-1.5 PCI, калибратор инфразвуковых датчиков пистонфонного типа, компьютер для управления сбором и передачей данных, модем для передачи данных в интернет.

Станция оснащена инфразвуковой аппаратурой, которая установлена в выносных павильонах с апертурой 500 м и включает блок инфразвукового микробарографа, разработанного в ИСЗФ СО РАН, устройство калибровки и систему шумоподавления в виде трубной линии длиной 60 м с 20 входными капиллярами. Инфразвуковая информация передается в центральный пункт для регистрации посредством кабельных линий. Основные характеристики инфразвуковых микробарографов с усилителем следующие: динамический диапазон 80 дБ; полоса частот 0.02–1 Гц; собственный шум 0.01 мкбар; чувствительность 0.05 В/мкбар. Инфразвуковая станция позволяет регистрировать большинство наблюдаемых в регионе источников акусто-гравитационных волн инфразвукового диапазона естественного и техногенного происхождения.

## Развертывание станции приема сигналов ГНСС-систем в приполярном регионе на выносной точке Норильской КМИС

Изучение ионосферы приполярных областей, в том числе методами спутникового ГНСС-зондирования, представляет значительный интерес. Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция (НорКМИС) оборудована двухчастотным приемником ГНСС сигналов Геофизической службы РАН. Установка дополнительного приемника ГНСС позволит получать не только непосредственные данные о вариациях полного электронного содержания, но также применять в исследовании приполярной ионосферы интерферометрические методы.

Измерительный полигон НорКМИС расположен примерно в 100 км к северу от Норильска. Удаленность от населенного пункта накладывает ограничения на режимы доступа в интернет и питания оборудования полигона. В целях снижения уровня потребления электроэнергии для организации комплекса ГНСС-наблюдений был использован промышленный безвентиляторный компьютер eBox-3300MX (рис. 119). К его достоинствам следует также отнести систему пассивного охлаждения – теплоотведение осуществляется через корпус, что исключает наличие подвижных частей, циркуляцию воздуха внутри и снижает накопление пыли внутри корпуса, повышая общее время автономной работы. На случай обесточивания системы комплекс снабжается источником бесперебойного питания. Кроме того, приемник и компьютер настраиваются так, чтобы запуститься сразу после подачи питания.



Рис. 119. Внешний вид промышленного компьютера eBox-3300MX

Антенна приемника размещена на крыше измерительного кунга. Первоначальный план предполагал ее крепление к одному из монтажных болтов, расположенных на крыше измерительного кунга, для чего заранее был изготовлен резьбовой переходник. На месте выяснилось, что транспортировка повредила болты и их направление не позволяет установить антенну горизонтально. На месте из переходника и одной из монтажных проушин была изготовлена крепежная площадка для антенны (рис. 120).



Рис. 120. Элементы крепежа антенны и ее общий вид после установки

Программный компонент приемного комплекса был настроен на режим автономной работы, предполагающий автоматическую отправку данных на сервер ИСЗФ СО РАН после частичной обработки, необходимой для снижения объема передаваемых данных. Таким образом, станция спутникового мониторинга ионосферы выносного пункта НорКМИС на базе приемника сигналов ГЛОНАСС/GPS Javad-DELTA-G3T с антенной RingAnt-G3T и промышленного компьютера eBox-3300MX была полностью развернута и запущена в работу.

### **Разработка структуры современного цифрового инфраакустического комплекса, включающего оперативное измерение и сбор метеопараметров атмосферы и развитие комплексной системы обработки данных**

Акустические сигналы от землетрясений умеренной силы наблюдаются довольно редко и поэтому не были столь хорошо известны вплоть до события крупного ( $M \sim 9.0$ ) Аляскинского землетрясения в 1964 г. Оно генерировало атмосферные волны давления с необычно длинным периодом (около 14 мин), которые затем были четко зарегистрированы на больших расстояниях. Научный интерес к акустическим сигналам от землетрясений обусловлен, по крайней мере, двумя факторами. Первый состоит в том, что землетрясения действительно возбуждают интенсивные акустико-гравитационные волны (АГВ). Вторых, АГВ мощных наземных источников играют основную роль в переносе энергии снизу на ионосферные высоты. Однако структура АГВ, возбуждаемых землетрясением, достаточно сложна. На примере землетрясения на Аляске 1964 г. было показано, что акустические сигналы, обусловленные землетрясением, состоят из нескольких волновых групп. Амплитуда акустических сигналов хорошо согласуется с вертикальными движениями поверхности земли вблизи акустического датчика, а соответствующие скорости этих волн достаточно высоки (4–6 км/с). Показано, что волновые группы акустических сигналов последовательно возбуждаются объемными сейсмическими волнами Р- и S-типов, а затем интенсивными поверхностными рэлеевскими волнами.

Регион Байкальской рифтовой зоны относится к зоне высокой сейсмической активности, в которой возможно проявление АГВ инфразвукового диапазона. Поскольку нет объективной привязки ко времени сейсмического процесса, предполагается регистрация сигналов в квазинепрерывном режиме. Разработана структура файлового хранения инфразвуковых данных в виде некоторой базы данных по годам и дате записи. Структура и состав измерительного комплекса определяется как трехэлементный интерферометр методом измерения движущейся интерферометрической картины над поверхностью Земли.

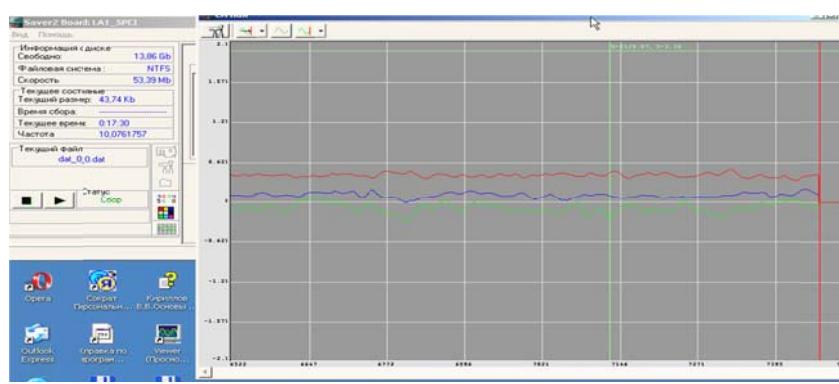


Рис. 121. Пример записи фонового инфразвукового сигнала 7 декабря 2015 г.

Для оценки параметров источника инфразвуковых сигналов разработано программное обеспечение на основе расчета кросскорреляционных функций, позволяющее определить угловые спектры азимута источника сигналов. На рис. 121. представлен пример фонового инфразвукового сигнала 7 декабря 2015 г.

Сбор метеопараметров пока не включен в работу комплекса из-за отсутствия метеостанции.

## Модернизация существующих геофизических комплексов

### Модернизация геофизического комплекса на Норильской КМИС ИСЗФ СО РАН

В результате усилий по модернизации обсерватории в последние годы НорКМИС была оснащена современными средствами регистрации и первичной обработки данных наблюдений. В настоящее время функционирует следующий геофизический комплекс.

*Вариационные наблюдения* – две дублирующие магнитовариационные станции:

- цифровая трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-008;
- аналоговая станция «Кварц» на основе датчиков Боброва с выходом на ПК.

*Абсолютные измерения магнитного поля Земли*:

- оверхаузеровский протонный магнитометр полного вектора POS-1;
- феррозондовый деклинометр – инклинометр MAG-01H THEO 015 В для регистрации наклонения и склонения ЭМПЗ.

Наблюдения геомагнитных пульсаций: трехкомпонентный индукционный магнитометр Lemi-30 (частотный диапазон 0–30 Гц)

Ежедневно данные о магнитном поле Земли передаются на сервер Института по каналам Интернета.

Вертикальное зондирование ионосферы: цифровой дигизонд DPS-4 (работает с 2002 г.). Основное назначение – получение ионограмм вертикального зондирования с последующим расчетом профиля электронной концентрации и следующих ионосферных характеристик:

- амплитуда (максимальное разрешение 3/4 дБ);
- фаза (максимальное разрешение 2 пк/256 рад);
- задержка (максимальное разрешение 16.66 мкс);
- доплеровский сдвиг частоты (максимальное разрешение 0.024 Гц);
- вертикальный угол прихода;
- азимутальный угол прихода.

В 2015 г. ионозонд отработал в штатном 15-минутном режиме без сбоев.

*Наклонное зондирование ионосферы*:

В 2014–2015 гг. на радиофизическом комплексе ЛЧМ-установки НорКМИС были проведены ремонтно-профилактические работы. В настоящее время установка работает в штатном режиме (рис. 122).

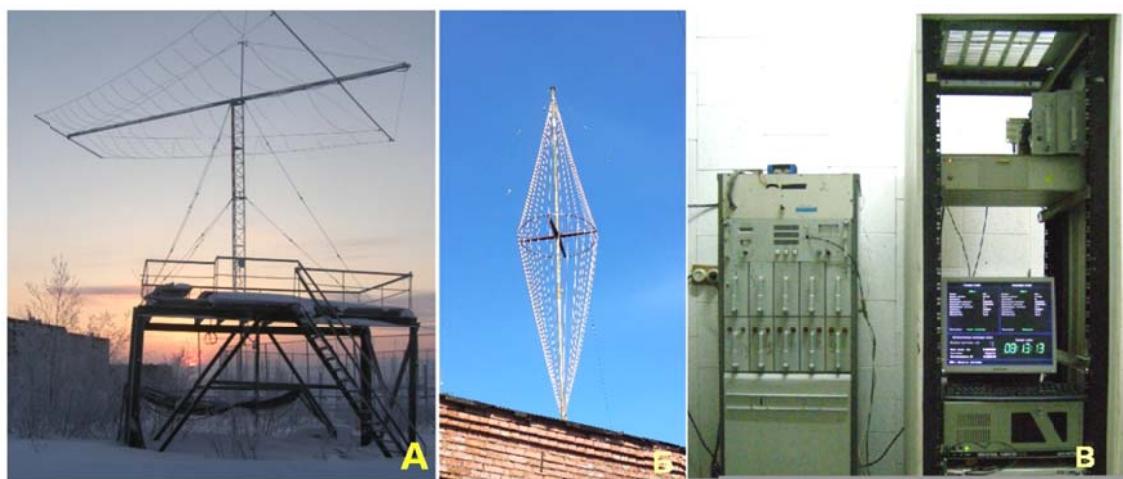


Рис. 122. Комплекс ЛЧМ-установки: А — передающая антенна ЛЧМ-сигналов DLP-22; Б — приемная антенна ЛЧМ; В — приемо-передающий комплекс ЛЧМ-сигналов НорКМИС

На НорКМИС работает комплекс аппаратуры (рис. 123) по регистрации вариаций геомагнитных пульсаций электромагнитного поля Земли в диапазоне частот 0–30 Гц.

Комплекс включает следующие компоненты:

- индукционный нанотесламетр Lemi-30 (3 датчика + блок управления);
- ноутбук для регистрации данных;
- система передачи данных на центральный сервер ИСЗФ.

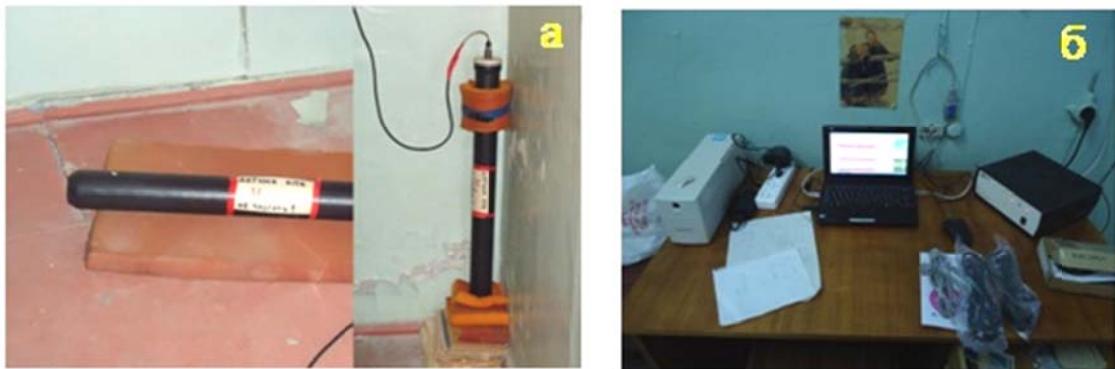


Рис. 123. Комплекс аппаратуры для регистрации геомагнитных пульсаций на базе индукционного нанотесламетра Lemi-30: *а* — датчики, *б* — пункт регистрации

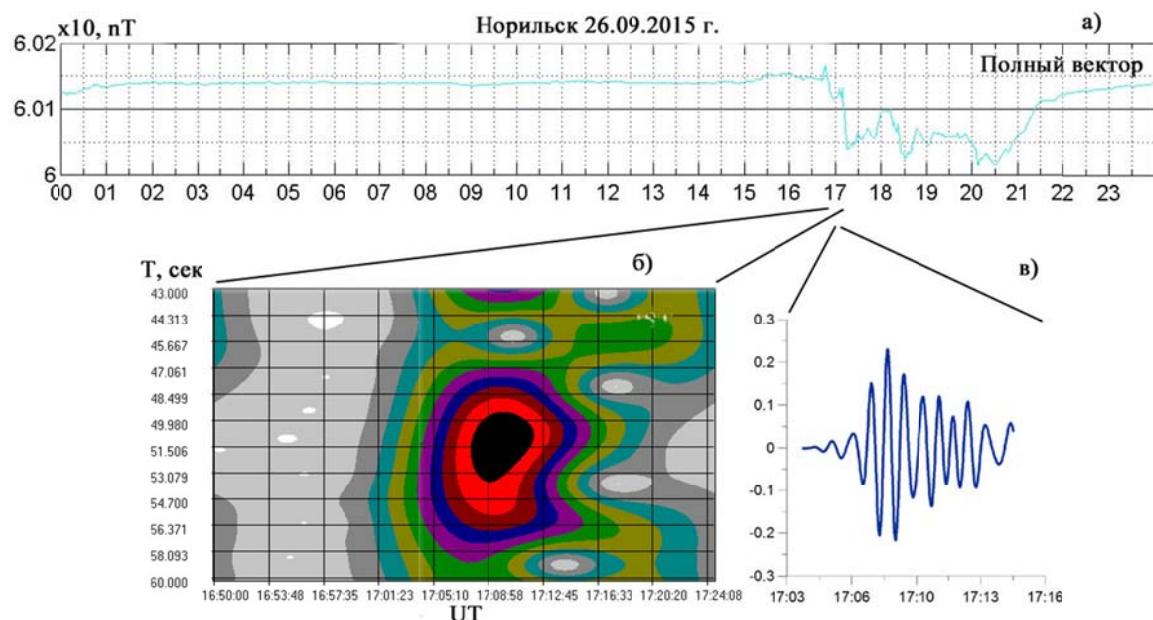


Рис. 124. Возбуждение геомагнитных пульсаций в период развития магнитной суббури 26.09.2015 г.: *а* — вариации полного вектора магнитного поля Земли на ст. Норильск; *б* — динамический спектр геомагнитных пульсаций Pi2 (ст. Норильск); *в* — аналоговая форма Pi2

На рис. 124 приводится пример регистрации геомагнитных пульсаций (*в*) в период развития магнитного возмущения (*а*) и динамический спектр зарегистрированного сигнала (*б*).

Установленная на КМИС система спутникового интернета позволяет оперативно получать данные наблюдений в институт по системе удаленного доступа практически со всех инструментов, установленных на Норильской КМИС с любой степенью скважности, вплоть до реального времени.

## Модернизация оптического комплекса в ГФО «Торы» и его опытная эксплуатация для регистрации спектрального состава излучения ночной атмосферы в средних широтах

Геомагнитная обстановка 17 марта 2015 г. позволила проверить работу спектрометра, описанного ранее в разделе 1.6 в условиях, идентичных условиям авроральной атмосферы. По значению  $D_{st}$ -индекса (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>), который коррелирует с интенсивностью среднеширотных сияний, последняя буря такой силы была зафиксирована 15 мая 2005 г. По состоянию на март 2015 г. это самая сильная буря по  $D_{st}$ -индексу в 24 солнечном цикле.

На рис. 125–128 приведены экспериментальные данные, полученные с помощью спектрографа Shamrock SR-303i в период опытной эксплуатации в ГФО 16–18 марта 2015 г.

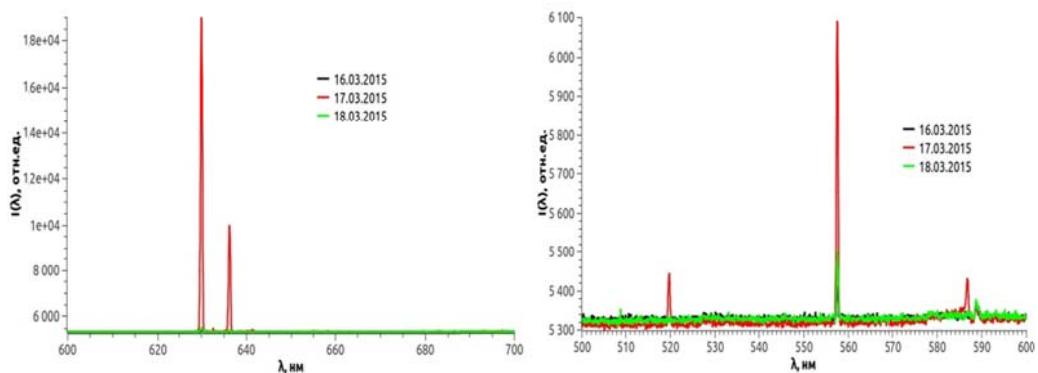


Рис. 125. Интенсивность излучения ночной атмосферы в спектральном диапазоне 500–700 нм 16–18 марта 2015 г. в 15:40 UT. Экспозиция 30 с

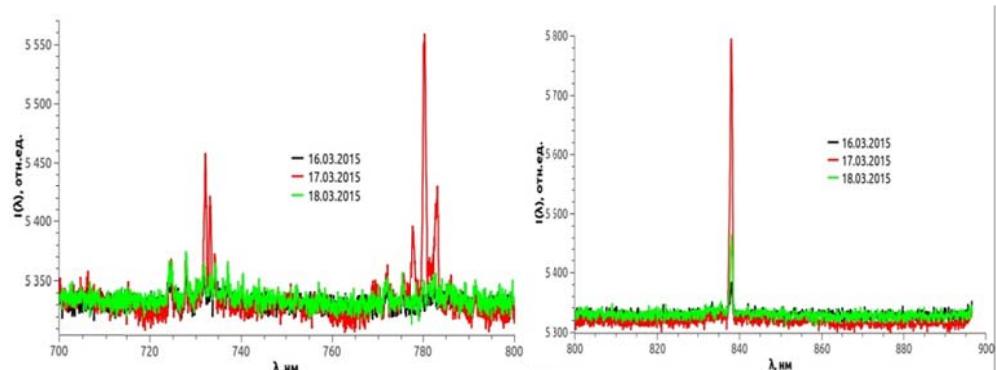


Рис. 126. Интенсивность излучения ночной атмосферы в спектральном диапазоне 700–900 нм

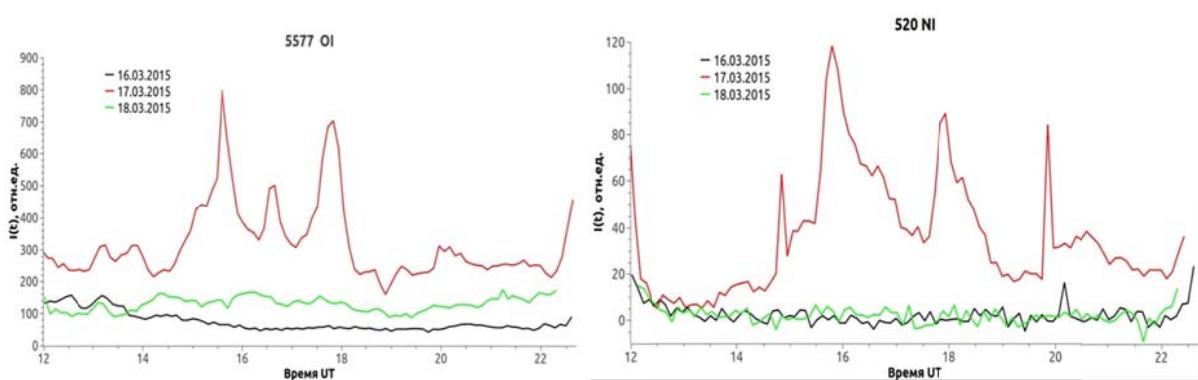


Рис. 127. Временной ход интенсивностей эмиссий верхней атмосферы 16–18 марта 2015 г. Экспозиция 30 с

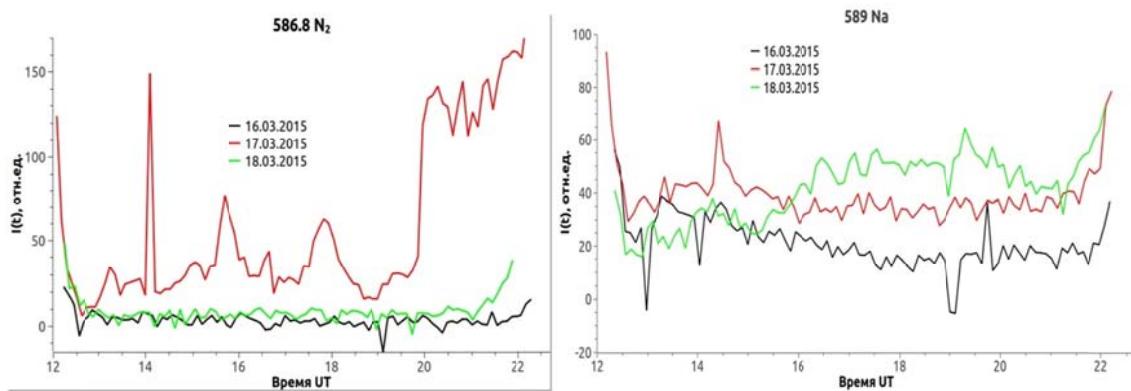


Рис. 128. Временной ход интенсивностей эмиссий верхней атмосферы 16–18 марта 2015 г. Экспозиция 30 с

На рис. 129 представлен временной ход интенсивности эмиссии 630 нм, полученный с помощью приборов САТИ-1М и Shamrock-303i 17 марта 2015 г. (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr>). Поле зрения и направления визирования приборов подобны.

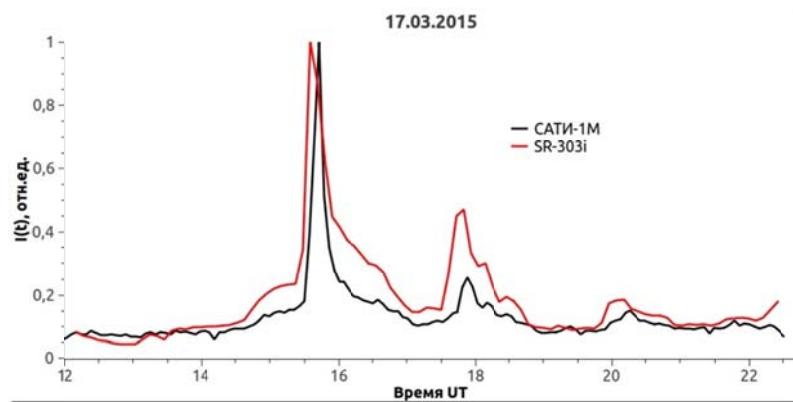


Рис. 129. Временной ход интенсивности эмиссии 630 нм, полученный с помощью приборов САТИ-1М (экспозиция 260 с) и Shamrock-303i (экспозиция 30 с)

По данным прибора САТИ-1М (<http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr>), установленного в ГФО и практически соответствующего прибору SR-303i по направлению визирования и полу зрения, средняя интенсивность эмиссии OI 557.7 нм 16 и 17 марта 2015 г. составляла 50 и 180 Рл соответственно. Значения для эмиссии OI 630 нм составили 248 и 832 Рл. Прибор SR-303i уверенно регистрировал излучение эмиссионных линий атомарного кислорода 557.7 и 630 нм в невозмущенных условиях 16 марта (при экспозиции 30 с 0.68 и 7.5 Рл на отсчет АЦП для линий 557.7 и 630 нм соответственно) и без изменения параметров работал в условиях среднеширотного сияния 17 марта 2015 г.

В результате опытной эксплуатации спектрографа Shamrock SR-303i в ГФО были подобраны параметры эксплуатации прибора, созданы и апробированы программа наблюдений в автоматическом режиме и программа предварительной обработки данных. Сделаны следующие выводы:

1. С помощью спектрометра SR-303i возможно проведение ночных и дневных спектральных наблюдений излучения атмосферы в полностью автоматическом режиме. Изменение параметров наблюдения (ширина входной щели, измеряемый спектральный диапазон, экспозиция) осуществляются автоматически в зависимости от времени суток.

2. Чувствительность спектрометра достаточна для регистрации среднеширотного излучения ночной атмосферы в невозмущенных условиях. При этом динамический диапазон достаточно широк для регистрации излучения ночной атмосферы во время среднеширотного сияния без изменения параметров регистрации.

3. Shamrock 303i позволяет работать с экспозициями 30 с (прибор САТИ-1М в аналогичных условиях работает с экспозициями 260 с).

## **Модернизация оптических куполов контрольно-измерительного пункта на Норильской КМИС**

Общий вид контрольно-измерительного пункта на выносном пункте станции НорКМИС по состоянию на начало ноября 2015 г. приведен на рис. 130.



*Рис. 130. Общий вид контрольно-измерительного пункта на выносном пункте станции НорКМИС*

Оптические купола, входящие в состав контрольно-измерительного пункта, из-за своих геометрических размеров не позволяли изменять направление визирования крупногабаритного оптического оборудования с малым полем зрения. Было принято решение установить один оптический купол диаметром 1 м вместо четырех диаметром 30 см. Весной 2015 г. были приобретены два оптических купола диаметром 1 м из оргстекла. Летом 2015 г. произведена замена оптических куполов. Крепление для куполов были изготовлены в экспериментальном цехе ИСЗФ СО РАН. Общий вид установленного оптического купола показан на рис. 131.



*Рис. 131. Оптический купол, установленный на контрольно-измерительном пункте*

### **Состав оптического комплекса**

В настоящее время на выносном пункте установлено следующее оптическое оборудование.

1. Спектрограф Shamrock-303i. Технические характеристики прибора приведены в разделе 1.

2. Широкоугольная обзорная камера CSDU-285-C с ПЗС-матрицей SONY CCD ICX285AQ для регистрации пространственной картины вариаций излучения ночной атмосферы в спектральном RGB-диапазоне. Поле зрения камеры  $\sim 100^\circ$ . Экспозиция 15 с. Характеристика спектральной чувствительности ПЗС-матрицы показана на рис. 132.

3. Широкоугольная камера «Видеоскан-11002» для исследования пространственного распределения вариаций излучения атмосферы в ближнем инфракрасном спектральном диапазоне. Поле зрения камеры  $\sim 140^\circ$ . Экспозиция 30 с.

4. Широкоугольная камера CSDU-423-1 для исследования пространственного распределения вариаций интенсивности эмиссии атомарного кислорода в линии 630 нм. Поле зрения камеры  $\sim 70^\circ$ . Экспозиция 30 с.

5. Широкоугольная камера CSDU-423-2 для исследования пространственного распределения вариаций излучения атмосферы в спектральном диапазоне 420–530 нм. Поле зрения камеры  $\sim 70^\circ$ . Экспозиция 30 с.

6. Широкоугольная обзорная камера SDU-415C с ПЗС-матрицей SONY CCD ICX415AQ в термоизолированном кожухе для регистрации пространственной картины вариаций излучения ночной атмосферы в спектральном RGB-диапазоне. Поле зрения  $\sim 100^\circ$ . Экспозиция 30 с. Характеристика спектральной чувствительности ПЗС-матрицы показана на рис. 133.

Из перечисленного выше в октябре–ноябре 2015 г. было установлено следующее оборудование: спектрограф Shamrock, камеры CSDU-285c, CSDU-423-1, CSDU-423-2.

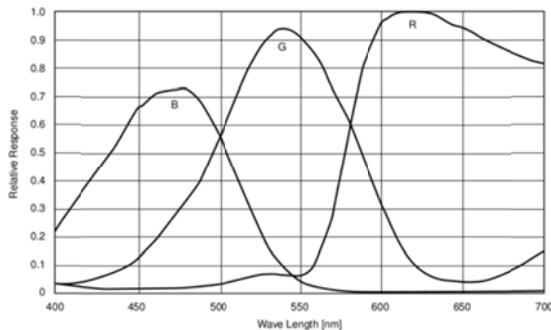


Рис. 132. Характеристика спектральной чувствительности матрицы SONY CCD ICX285AQ

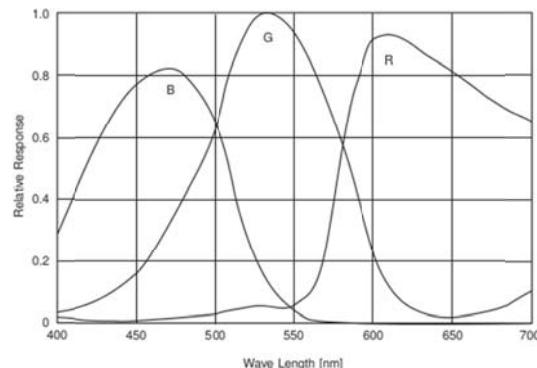


Рис. 133. Характеристика спектральной чувствительности матрицы SONY CCD ICX415AQ

На рис. 134, 135 приведен общий вид помещения под оптическим куполом и вид оптического оборудования с крыши контрольно-измерительного пункта.



Рис. 134.



Рис. 135.

Общий вид помещения под оптическим куполом (рис. 134) и оборудование под оптическим куполом на станции «Исток». Вид сверху (рис. 135)

Для проверки различных способов установки оптического оборудования в условиях крайнего севера (низкие температуры, метель, дефицит электроэнергии) был изготовлен термоизолированный кожух с оптическим куполом, предназначенный для установки в произвольном месте с подходящими условиями видимости. Модуль требует только подключение питания ~220В. Управление и передача данных осуществляется с помощью беспроводного канала связи (WiFi). Внутри кожуха (рис. 136) расположен управляющий компьютер (ноутбук) и оптическое оборудование. Подкупольное пространство герметично отделено от отсека оборудования. В настоящее время в кожухе установлена камера SDU-415.



Рис. 136. Термоизолированный кожух для оборудования



Рис. 137. Термоизолированный кожух для оборудования, установленный на крыше контрольно-измерительного пункта

На рис. 137 показан термоизолированный кожух, установленный на крыше контрольно-измерительного пункта.

Предварительная обработка и передача данных осуществляется с помощью компьютера под управлением операционной системы Linux. Исходные данные доставляются в ИСЗФ СО РАН.

## Создание специализированного сервера для организации базы экспериментальных данных, получаемых с комплекса геофизических приборов в средних и авроральных широтах

## Комплект программ для архивации материалов наблюдений магнитной обсерватории «Иркутск»

Комплект программ первичной обработки данных цифровых магнитовариационных станций (ЦМВС) предназначен для создания суточных файлов секундных и минутных значений вариаций геомагнитного поля (ГМП), температуры датчиков ЦМВС, привязки регистрируемых процессов к мировому времени, а также для определения базисных значений ЦМВС по результатам абсолютных наблюдений, для контроля и редакции данных ЦМВС при ежедневной подготовке информации по состоянию ГМП дежурным оператором обсерватории.

Комплект программ первичной обработки данных строится по принципу последовательной обработки исходных суточных файлов секундных значений. Программы после каждой операции позволяют оператору остановить процесс обработки данных, осуществить просмотр данных в графическом и тестовом виде при сохранении результатов в виде суточного файла. Такой режим позволяет использовать промежуточные результаты для редактирования данных, определения коэффициентов преобразования датчиков (центров), поправочных коэффициентов, базисных значений вариометров.

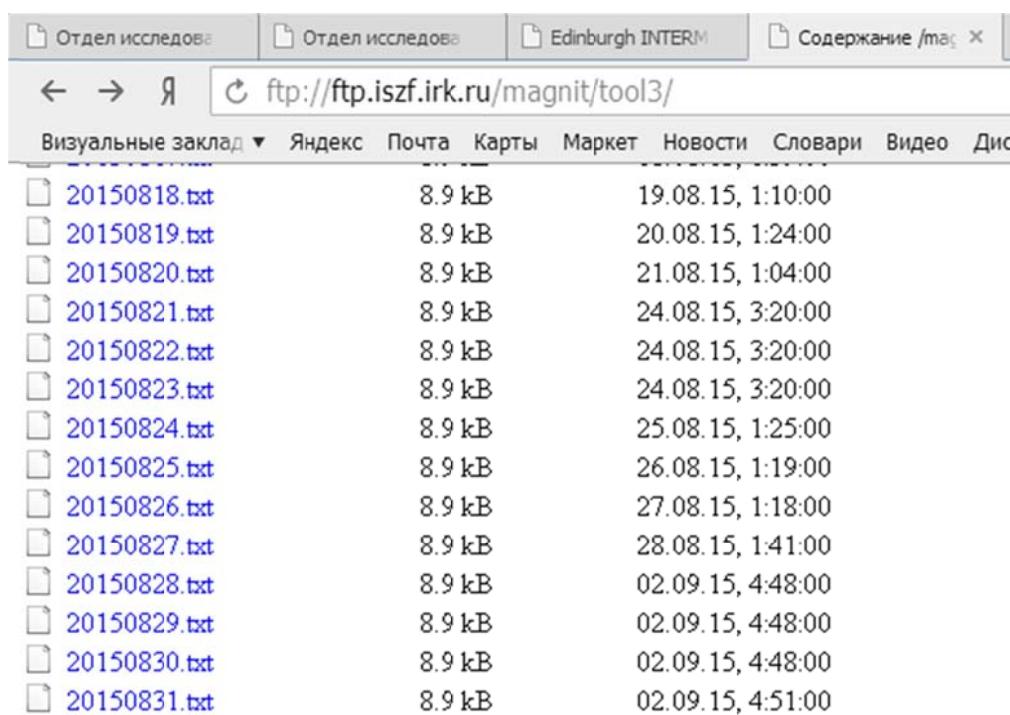


Рис. 138. Ежесуточные данные на сервере ИСЗФ

Ежесуточно на сайте Института <http://magnit.iszf.irk.ru/index.php?page=patron1> выставляются графики вариаций геомагнитного поля за прошедшие сутки и рассчитанные по методу Бартельса *K*-индексы геомагнитной активности (рис. 138).

Данные получены на измерительно-регистрирующем комплексе Магнитной обсерватории «Иркутск», обработаны в соответствии с требованиями международной сети магнитных обсерваторий Intermagnet. Качество данных контролируется специалистами Intermagnet. В 1998 г. МО «Иркутск» первой на территории СНГ получила официальный статус магнитной обсерватории международной сети Intermagnet.

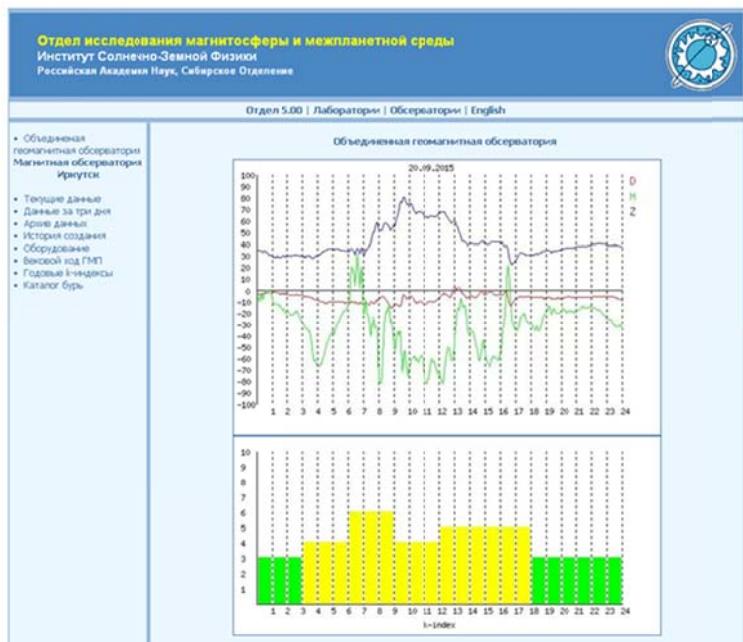


Рис. 139. Вид файлов, выставляемых на ftp-сервере ИСЗФ

Данные вариаций геомагнитного поля проходят следующие этапы получения и обработки.

1. Регистрация геомагнитного поля для магнитометров Lemi-018 и POS-1 осуществляется в цифровом виде, для кварцевых магнитометров «Кварц» и МВС — в аналоговом. Магнитометры расположены в абсолютном и вариационном павильонах в 50 и 100 м от технического павильона.
2. Передача данных в технический павильон, оцифровка данных для кварцевых магнитометров, формирование первичных файлов секундных значений.
3. Обнаружение и интерполяция сбоев секундных данных.
4. Формирование одноминутных данных с помощью фильтра Гаусса.
5. Получение абсолютных рядов наблюдений.
6. Формирование файлов данных для отправки в Intermagnet и на ftp-сервер ИСЗФ СО РАН.
7. Отправка файлов по адресу <ftp://ftp.iszf.irk.ru/magnit/tool3/> (рис. 139).
8. В автоматическом режиме данные из последних файлов выставляются на сайте ИСЗФ СО РАН <http://magnit.iszf.irk.ru/index.php?page=patron1> (рис. 138).

### **Организация автоматического сбора, обработки и хранения данных ГНСС-измерений на сервере ИСЗФ СО РАН**

Пункты сети ИСЗФ СО РАН приема сигналов ГЛОНАСС/GPS расположены преимущественно на полигонах Института, где созданы хорошие условия для размещения соответствующей аппаратуры и организации непрерывного ГНСС-мониторинга ионосферы. Условия передачи данных на полигонах различны и не везде позволяют осуществить оперативную передачу в центр обработки данных.

Наибольшую пропускную способность имеют каналы от пунктов ISTP и LIST. Данные с этих станций передаются на обрабатывающий сервер в исходном, неупакованном виде каждый час. Часть приемных пунктов (MOND, MKSM, USOL) на текущий момент не имеют стабильного канала передачи информации, данные этих измерений передаются курьером со средней периодичностью в несколько месяцев. Часть пунктов (UZUR, TORY, SARM, NORI) оборудована доступом в интернет, однако пропускная способность канала не позволяет передавать данные в исходном формате.

В ИСЗФ СО РАН организован специализированный сервер сбора и обработки данных ГНСС-сети. В зависимости от качества канала связи данные передаются ежечасно или ежесуточно. Система передачи включает в себя серверную и клиентскую части.

Клиентская часть разворачивается непосредственно на компьютере пункта приема ГНСС-сигнала и по расписанию осуществляет предварительную обработку исходных данных и их передачу в серверную часть. Степень предварительной обработки различна в зависимости от пропускной способности: упаковка исходных данных (UZUR), преобразование исходных данных из формата JPS в Rinex и CompactRinex (TORY, NORI). Перевод в необходимый формат и подготовка к передаче осуществляется утилитой Cron по заданному расписанию. Непосредственная передача осуществляется несколькими путями в зависимости от стабильности канала передачи данных.

На полигоне «Исток» (NORI) доступ в интернет осуществляется через спутниковый канал связи. Стабильность данного канала зависит от множества факторов, например, от силы и направления ветра, влияющего на точность наводки приемо-передающей параболической антенны. Неустойчивость соединения делает нежелательной использование непосредственного копирования посредством удаленного доступа. Упакованные данные со станции передаются в облачный сервис OwnCloud, развернутый в ИСЗФ СО РАН. Сервис выполняет синхронизацию данных, используя стандартный порт 80 протокола HTTP, организуя докачку файлов в случае обрыва соединения.

Доступ в интернет на станции SARM осуществляется посредством модемного подключения к сотовой сети. Допустимый объем передачи в данном случае достаточно жестко фиксирован и позволяет передавать данные в максимально сжатом формате: заархивированный CompactRinex с данными групповых и фазовых измерений GPS на частотах L1 и L2. Данные передаются на вспомогательный сервер, откуда их по расписанию забирает программа на сервере сбора.

На станции в п. Торы (TORY) отсутствует ограничение на объем передачи, однако соединение также является нестабильным. В текущей реализации это не позволяет передавать данные в исходном формате — требуется предварительная обработка. После упаковки данные в формате CompactRinex передаются посредством утилиты защищенного копирования SCP (SecureCoPy) на вспомогательный сервер, откуда их по расписанию забирает программа на сервере сбора. Исходные данные в формате JPS пунктов NORI, SARM и TORY забираются курьером.

Станция UZUR имеет статический IP-адрес, что позволяет серверу сбора данных обращаться к размещенной аппаратуре напрямую и копировать данные в исходном формате по расписанию. Для снижения объема передачи данные предварительно архивируются. Аналогично осуществляется получение данных со станций LIST и ISTP.

На рис. 140 показано наличие данных разных станций на специализированном сервере ИСЗФ СО РАН.

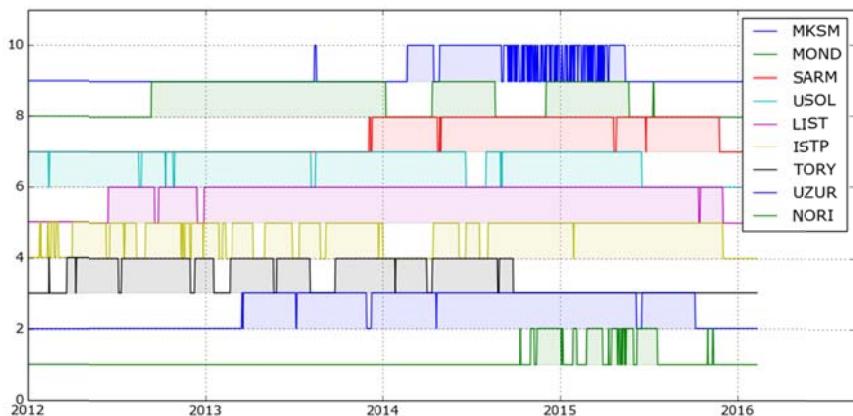


Рис. 140. Исходные данные станций сети ИСЗФ СО РАН в формате JPS, представленные на специализированном сервере за различные годы

## Построение локальных моделей ионосферы для различных циклов солнечной активности на основе длинных рядов данных вертикального зондирования ионосферы

В ИСЗФ СО РАН непрерывный мониторинг состояния ионосферы ведется с помощью цифровых ионозондов DPS-4, расположенных в Норильске и Иркутске. На основе данных Норильского и Иркутского ионозондов построены локальные модели регулярных вариаций ионосферных параметров в терминах суточно-сезонного хода при низкой солнечной активности и его изменения с возрастанием солнечной активности. Созданные локальные модели позволили подтвердить ряд известных закономерностей (отсутствие зимней аномалии в полярной ионосфере при низкой солнечной активности, летняя вечерняя аномалия в среднеширотной ионосфере и др.), а также выявить ранее не отмеченные особенности полярной ионосферы. Наиболее интересной выявленной особенностью полярной ионосферы является так называемый эффект полярного дня в суточно-сезонных вариациях высоты максимума  $h_mF2$  при низкой солнечной активности. Эффект заключается в том, что большие ( $>270$  км) и малые ( $<270$  км) значения  $h_mF2$  приблизительно разделены линиями рассвета и заката (рис. 141).

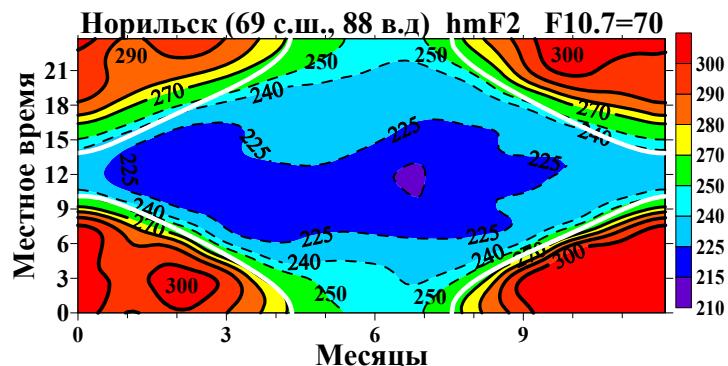


Рис. 141. Суточно-сезонный ход  $h_mF2$  при низкой солнечной активности для Норильска. Белые линии показывают терминатор по зенитному углу Солнца  $96^\circ$

В отличие от среднеширотной ионосферы суточно-сезонный ход  $h_mF2$  в Норильске характеризуется небольшим суточным перепадом летом и, как следствие, большим сезонным перепадом ночью (247–315 км). Интересно то, что подобное поведение до сих пор не отмечалось на других полярных станциях. Например, амплитуды годовых гармоникочных  $h_mF2$  для полярных станций ( $67$ – $68^\circ$  N) близки амплитудам годовых гармоник для среднеширотных станций, что говорит о небольшой разнице в сезонном перепаде ночного  $h_mF2$  между полярными и среднеширотными станциями. По всей видимости, эффект полярного дня обусловлен уникальным расположением Норильского ионозонда, которое заключается в том, что в Норильске характеризуется наибольшим магнитным наклонением  $83^\circ$  по сравнению с другими станциями, расположенными на широте  $70^\circ$ . Кроме того, в Норильске наименьшая геомагнитная широта по сравнению с другими станциями, расположенными на широте  $70^\circ$ . Первое обстоятельство ведет к тому, что нейтральный ветер практически не вызывает подъема и опускания ионосферного слоя, второе – к тому, что влияние магнитосферных процессов на ионосферу над Норильском меньше по сравнению с другими полярными станциями. В итоге суточно-сезонная картина  $h_mF2$  формируется вариациями балансной высоты, которая в основном определяется условиями солнечной освещенности.

На основе длинных рядов данных Норильского и Иркутского ионозондов осуществлен сравнительный анализ ионосферной возмущенности полярной и среднеширотной ионосферы. В качестве меры ионосферной возмущенности выбрана вариативность максимума электронной концентрации  $N_mF2$ , представляющая собой среднеквадратичное значение относительного отклонения  $N_mF2$  от его медианных значений. В результате сравнительного анализа выяснены основные сходства и различия. Ионосферная возмущенность

выше в полярной ионосфере за исключением летнего периода, когда ионосфера над Норильском круглосуточно освещена. В освещенных условиях ионосферная возмущенность возрастает с уровнем солнечной активности для обеих станций: от 14 до 25 % для Иркутска и от 15 до 28 % для Норильска при изменении среднегодового индекса  $F10.7$  от 70 до 140 с.е.п. В неосвещенных условиях ионосферная возмущенность явно возрастает с уровнем солнечной активности только для Норильска (от 35 до 48 %), тогда как для Иркутска возмущенность меняется от 25 до 30 %, не демонстрируя явной зависимости от солнечной активности. В освещенных условиях сезонный ход ионосферной возмущенности хорошо выражен для Норильска (от 14 % летом до 25–27 % весной и осенью) и слабее выражен для Иркутска (от 12 % летом до 16–17 % весной, зимой и осенью). Таким образом, наибольшие различия между возмущенностями полярной и среднеширотной ионосферы наблюдаются в неосвещенных условиях, в отдельные годы они могут отличаться в два раза.

### **Представление результатов наблюдения вариаций ПЭС во время серии экспериментов по исследованию сейсмо-ионосферных взаимодействий**

Центральный элементом в экспериментах по исследованию сейсмо-ионосферных взаимодействий является специальный 100-тонный сейсмовибратор, находящийся в ведении Института геологии СО РАН (г. Улан-Удэ). За отчетный период в силу ряда обстоятельств запуск вибратора не производился.

Тем не менее, данные приема ГНСС-сигналов на сети ИСЗФ СО РАН были использованы для проведения ряда других исследований: для оценки влияния грозовых разрядов на величину полного электронного содержания, отклика ПЭС на внезапное начало магнитной бури (SSC), для измерения среднего уровня возмущенности ПЭС в течение года. По близкой к сейсмо-ионосферным связям тематике было проведено исследование отклика ПЭС на извержение вулканов.

Грозовой разряд является источником широкополосного радиоизлучения, что может сказываться на качестве приема ГНСС-сигнала. Кроме того, во время разряда происходит перераспределение потенциалов, что может наблюдаться в изменении величины ПЭС, регистрируемой во время грозы. Информация о грозах, имевших место вблизи сети ИСЗФ СО РАН, получена по данным сети грозопеленгаторов ЗАО НТЦ «Технологии мониторинга о безопасности», содержащих информацию о широте, долготе, времени и интенсивности грозового разряда.

Оценка влияния грозового разряда проводилась определением лучей, подионосферные точки которых проходили наиболее близко к месту наблюдения разряда, и анализом вариаций ПЭС, полученных на этих лучах. На рис. 142 представлено распределение вариаций ПЭС во время одной из гроз. Круг отмечает интенсивность разряда, его центр соответствует месту наблюдения разряда, цвет точек – интенсивность вариаций ПЭС. На рис. 143 показано распределение ПЭС на одном из лучей спутник–приемник. Видно, что в данном случае после грозовых разрядов (штриховая линия) наблюдается небольшое понижение ПЭС. Оценка влияния гроз на качество приема сигнала проводилась по наблюдению параметра *Validity*, формирующегося побитово и принимающего тем большее значение, чем менее благоприятными были условия приема сигнала. На рис. 144 показано изменение *Validity* во время наблюдения грозы.

Мы провели анализ за весь период 2012–2013 гг., для которого располагали данными грозопеленгации, однако ярко выраженного и стабильного эффекта грозовых разрядов в вариациях ПЭС наблюдать не удалось. Материалы данных исследований представлены в выпускной квалификационной работе бакалавра физического факультета ИГУ Щербакова Е.С., защищенной с оценкой «отлично».

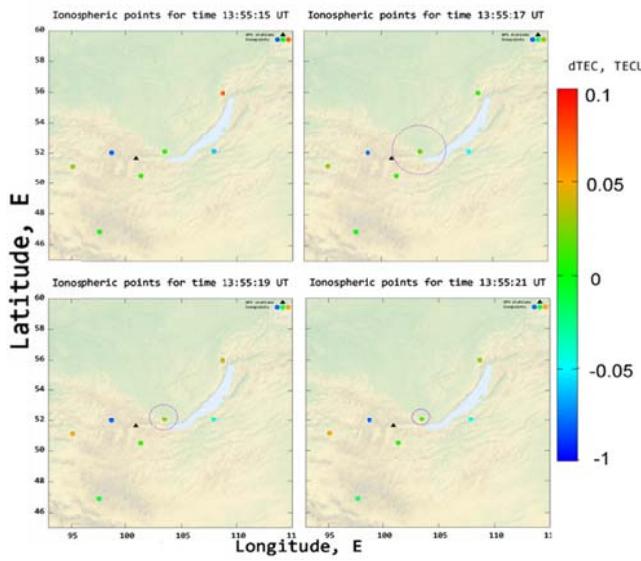


Рис. 142. Распределение вариации полного электронного содержания во время грозы 22 сентября 2012 г. в 13:55:17–13:55:21 UT с шагом 2 с

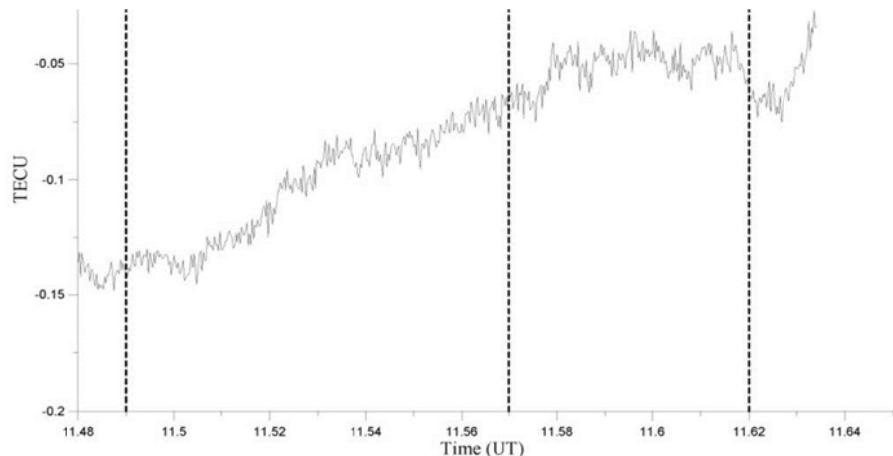


Рис. 143. Распределение вариации полного электронного содержания во время грозы 29 июля 2012 г. на луче ORDA-PRN17. Штриховые линии отмечают время регистрации разряда грозопеленгатором

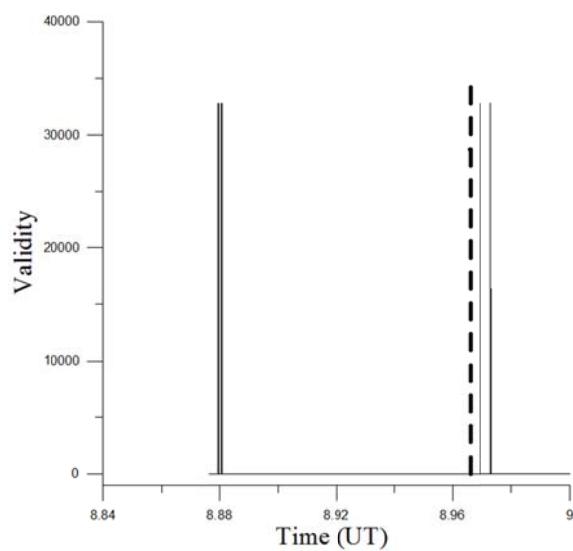


Рис. 144. Изменение величины Validity во время грозы (28 июня 2014 г.). Штриховая линия отмечает время регистрации разряда грозопеленгатором

Исследование вариаций ПЭС во время SSC были проведены по данным станций сети ИСЗФ СО РАН за 2013 г. Оценка уровня изменения ПЭС проводилась посредством вычисления индекса средней возмущенности ПЭС  $W_{\text{tec}}$  [12]. Расчет индекса осуществлялся по всем наблюдаемым станцией спутникам вычислением средней амплитуды вариаций ПЭС в заданном диапазоне периодов. Вариации  $W_{\text{tec}}$  были рассчитаны по данным станций сети ИСЗФ СО РАН за полный 2013 г. На рис. 145 приведены вариации  $W_{\text{tec}}$  в марте 2013 г. в диапазонах периодов 1–10 и 1–40 мин по данным среднеширотных станций MOND (п. Монды) и ORDA (г. Усолье-Сибирское), а также высокоширотной NRIL (г. Норильск).

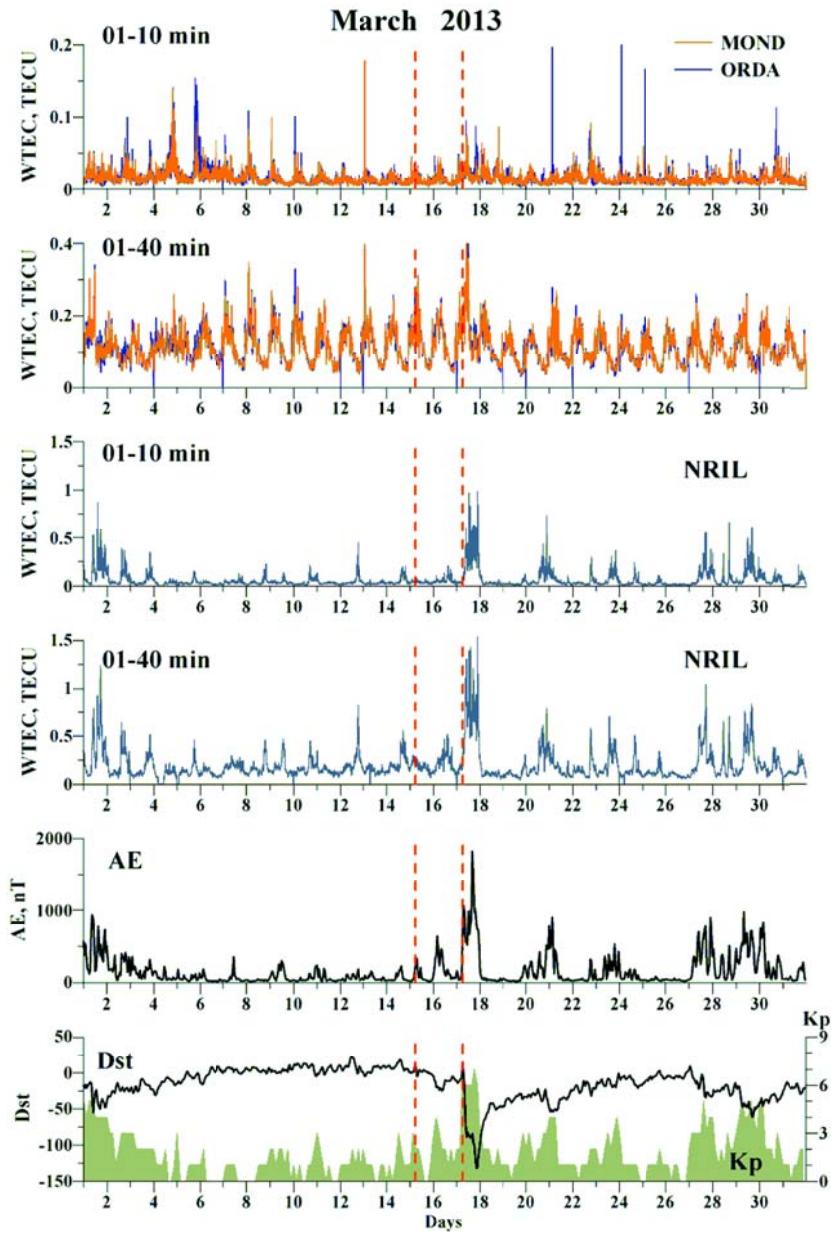


Рис. 145. Вариации индекса  $W_{\text{tec}}$  в различных диапазонах периодов по данным среднеширотных станций ORDA и MOND, а также высокоширотной NRIL. Штриховые линии — моменты SSC

Наблюдения показали, что в высоких широтах вариации  $W_{\text{tec}}$  хорошо согласуются с поведением индекса  $AE$ , достаточно точно повторяя его динамику. В средних широтах отклик на магнитные бури также заметен, хотя и менее выражен. Несмотря на то, что наблюдается реакция ПЭС на SSC, четко выраженной системы в наблюдении отклика установить не удалось. Средний уровень возмущенности имеет тенденцию увеличиваться в случаях, когда SSC происходит в дневное для станций наблюдения время; в ночное время отклик в средних широтах практически не наблюдается.

## **Синхронная регистрация вариаций ПЭС, геомагнитных вариаций и атмосферного электричества**

На Байкальской магнитно-тектонической обсерватории «Узур» задействованы приборы для мониторинга ряда параметров ближнего космоса. Этот стационар находится в зоне повышенной сейсмической активности вдали от промышленных предприятий, дающих электромагнитные помехи при высокочувствительных и прецизионных наблюдениях за геоэлектрическим комплексом явлений. В связи с этим в настоящее время ИСЗФ в кооперации с рядом академических институтов Сибирского отделения установил комплексы аппаратуры для всестороннего исследования электромагнитных откликов от землетрясений в зоне Байкальских рифтов.

В дополнение к магнито-тектоническому комплексу Lemi-418 установлены следующие приборы:

- приемник сигналов с навигационных спутников GPS/GLONAS для определения ПЭС в ионосфере и магнитосфере (рис. 146);
- электростатический флюксметр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы (рис. 147).



*Рис. 146. Приемник сигналов с навигационных спутников GPS/GLONAS для определения ПЭС в ионосфере и магнитосфере*



*Рис. 147. Электростатический флюксметр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы*

Материалы, полученные на этой обсерватории, используются для решения целого ряда важных фундаментальных и прикладных научных задач:

- Изучение резонансных колебаний магнитосферы, наземная локация по данным одной станции положения резонансной магнитной оболочки;
- Поиск электромагнитных предвестников землетрясений;
- Наблюдение за распространяющимися в ионосфере электромагнитными сигналами, вызванными воздействием на ионосферу процессов в магнитосфере и литосфере;
- Регистрация слабых электромагнитных излучений, генерируемых микро- и макро-процессами на границе магнитосферы при ее взаимодействии с солнечным ветром.

Эти исследования позволят продолжить начатые ранее на новом технологическом уровне работы по изучению возможных предвестников сильных землетрясений.

## Работа комплекса индукционных магнитометров

Работа экспериментального комплекса БМТО «Узур» свидетельствует о новом современном витке в развитии экспериментальной базы электромагнитных наблюдений не только для ИСЗФ, но и для многих заинтересованных академических институтов и других ведомств. На рис. 148 приводится пример синхронной записи параметров магнитного поля.

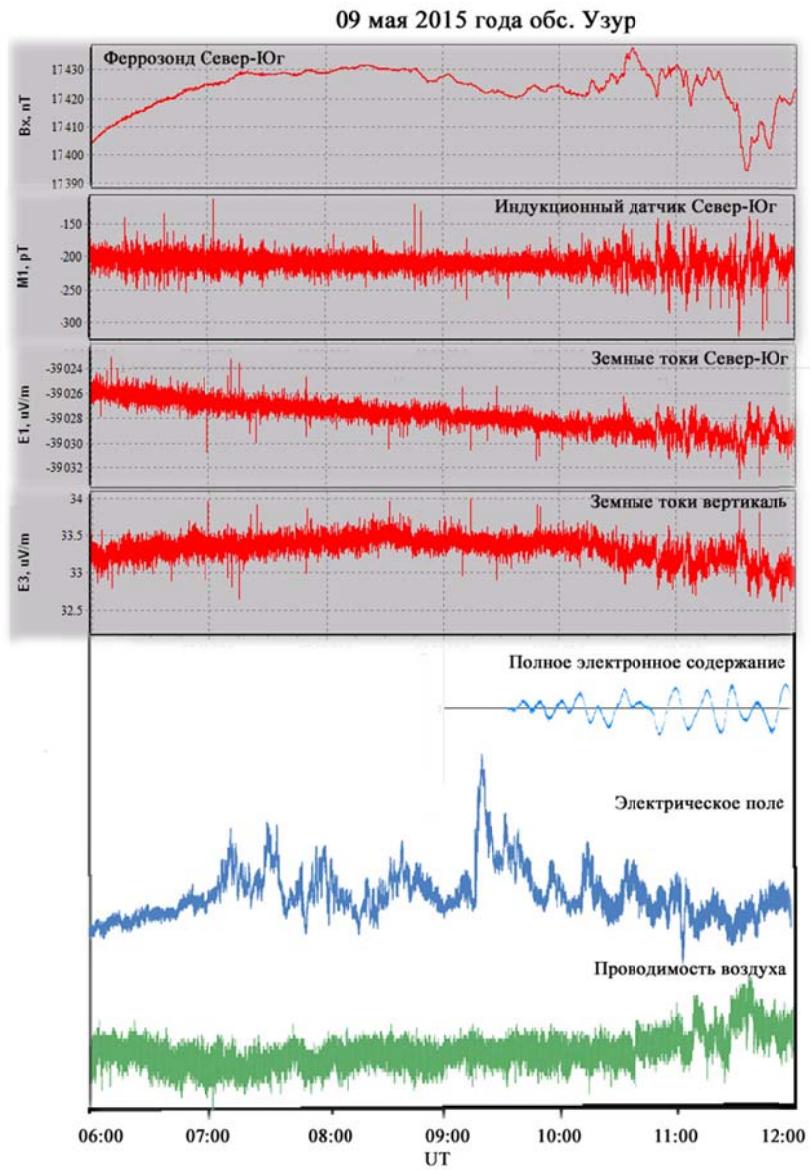


Рис. 148. Синхронная регистрация параметров магнитного поля: трехкомпонентный ферро-зонд, трехкомпонентный индукционный магнитометр, установка земных токов, GPS\ГЛОНАСС-приемник (ПЭС), электростатический флюксмет

## Исследование влияние ионосферных неоднородностей на сопровождение фазы сигнала в системах ГЛОНАСС и GPS

По данным Иркутской станции был проведен годичный анализ зависимости интенсивности вариаций ПЭС от угла места спутника. Для этого анализировались 30-секундные данные вариаций ПЭС  $I(t)$ , полученные за 12 месяцев. Все непрерывные ряды  $I(t)$  фильтровались скользящим средним с окном 0–10 мин. Для полученных отфильтрованных вариаций ПЭС  $dI(t)$  рассчитывались ряды огибающей  $A(t)$ . За весь период наблюдений

строилось двумерное распределение  $P(\theta, A)$  числа отсчетов в зависимости от угла места на спутник  $\theta$  и значения интенсивности (огибающей) фильтрованных вариаций ПЭС.

Чтобы выяснить, на каких углах места преимущественно регистрировались те или иные значения интенсивности вариаций ПЭС, была проведена нормировка распределения  $P(\theta, A)$  по значениям интенсивности и углам места. В итоге было получено нормированное распределение  $P_{\text{norm}}(\theta, A)$  (рис. 149), показывающее, что малые значения интенсивности вариаций ПЭС группируются вблизи больших значений угла места (ближе к зениту), а большие значения интенсивности преимущественно наблюдаются на малых углах места (вблизи горизонта).

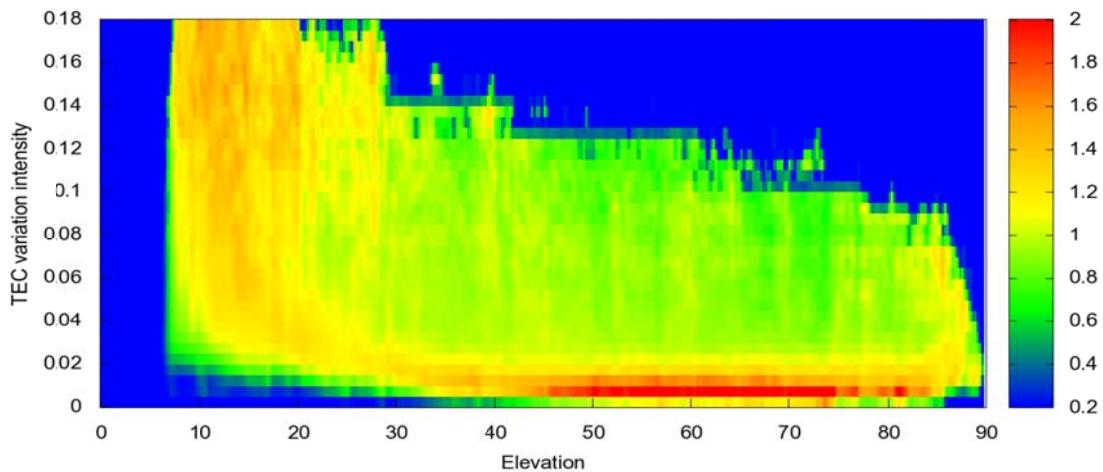


Рис. 149. Двумерное распределение плотности появления вариаций от угла места спутника и интенсивности этих вариаций

Характерно, что зависимость плотности сбоев сопровождения фазы от угла места спутника на дополнительной частоте для систем ГЛОНАСС и GPS (рис. 150) также возрастает при уменьшении угла места спутника. Этот факт косвенно подтверждает, что увеличение амплитуды вариаций ПЭС приводит к увеличению вероятности срыва фазы на дополнительной частоте. Для получения зависимости анализировались одногерцовые данные сети ИСЗФ СО РАН за 1 мес. Весь купол неба был разбит на 90 ячеек по  $1^\circ$  ( $90^\circ$  соответствует положению спутника в зените,  $0^\circ$  – на горизонте). Данные для углов места меньше  $5^\circ$  не приводятся, так как на этих углах сказываются эффекты окружающих строений, гор, и т. п.

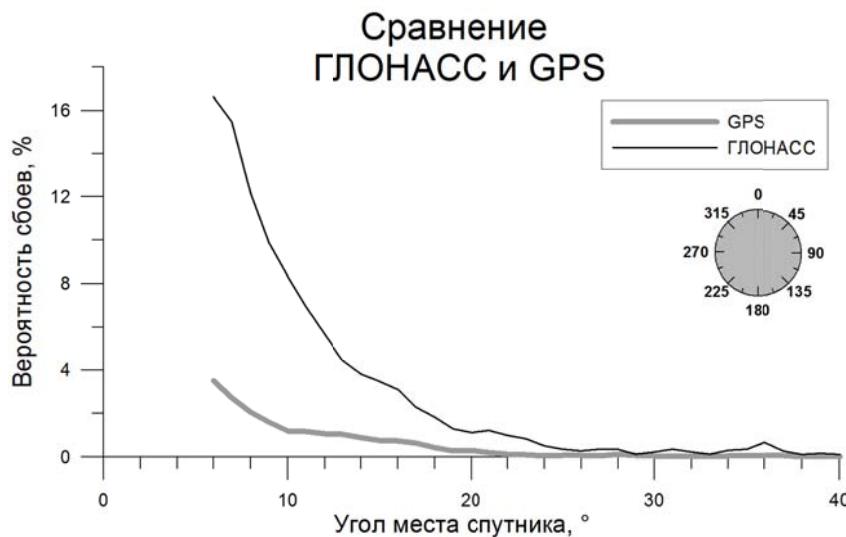


Рис. 150. Зависимость плотности сбоев сопровождения фазы на дополнительной частоте для систем ГЛОНАСС и GPS от угла места наблюдаемого спутника

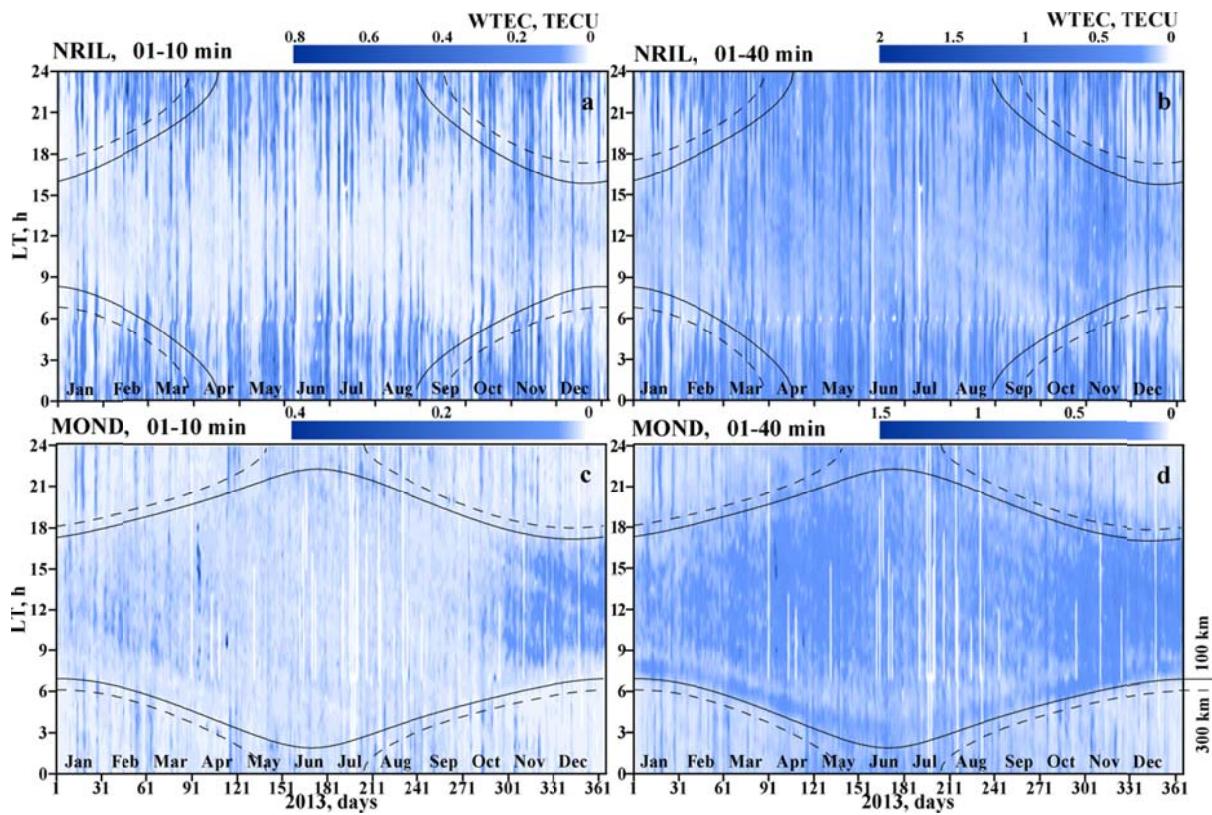


Рис. 151. Интенсивности суточных колебаний индекса возмущенности  $W_{\text{tec}}$  в течение 2013 г. для периодов фильтрации 1–10 и 1–40 мин в высоких и средних широтах. Линиями отмечено время появления солнечного терминатора на высотах 300 (штриховая) и 100 км (сплошная).

Постоянные ГНСС-наблюдения позволяют наблюдать непрерывную картину вариаций отдельных параметров ионосферы, исследовать долговременную динамику геофизических явлений и их сезонные особенности. По данным станций сети ИСЗФ СО РАН проведен анализ параметров вариаций ПЭС в высоком и среднеширотном регионе Сибири за полный 2013 г. (рис. 151). Анализ проводился на базе расчета индекса средней возмущенности ПЭС  $W_{\text{tec}}$ . Данный индекс вычислялся по данным двухчастотных фазовых измерений сигналов GPS, выполнявшимися размещеными на полигонах ИСЗФ СО РАН приемниками ГЛОНАСС-GPS.

Анализ непрерывных рядов  $W_{\text{tec}}$  в двух диапазонах периодов 1–10 мин (мелкий масштаб) и 10–40 мин (средний масштаб) показал наличие выраженного увеличения амплитуды среднемасштабных вариаций ПЭС в утренние часы. Данный рост амплитуды хорошо согласован со временем прохождения солнечного терминатора (СТ) и наблюдается только в средних широтах. Полученное наблюдение согласуется с полученными ранее в ИСЗФ СО РАН результатами наблюдения эффектов СТ в вариациях ПЭС.

#### Исследование меридионального распространения возмущений в верхней атмосфере с помощью регистрации собственного излучения верхней атмосферы Земли на разнесенных пунктах наблюдения

Начало активной фазы суббури в авроральной зоне сопровождается генерацией широкополосного всплеска иррегулярных пульсаций Pi2+Pi1B.

В средних широтах Pi2 наблюдаются как затухающие цуги колебаний в диапазоне периодов 45–200 с преимущественно в полуночном секторе магнитосферы.

Естественным образом возникает следующий вопрос: каким образом среднеширотная станция реагирует на появление суббури в высоких широтах на различном долготном уда-

лении от меридиана этой среднеширотной станции? Ответ на этот вопрос могут дать координированные наблюдения магнитосферных процессов в высоких и средних широтах. Решение этой проблемы возможно двумя путями. Первый — анализ развития суббури по магнитограммам одной высокоширотной станции с привлечением материалов регистрации пульсаций на глобальной сети среднеширотных обсерваторий. Второй — анализ возбуждения пульсаций по данным одной среднеширотной станции при появлении суббури в различных долготных секторах с привлечением магнитограмм всех авроральных станций. Очевидно, что второй путь легче реализовать, так как магнитные данные по высокоширотным станциям более доступны, чем материалы наблюдения геомагнитных пульсаций на практически глобальной сети среднеширотных обсерваторий. Следует добавить, что высокоширотные обсерватории, производящие регистрацию вариаций магнитного поля, оснащены практически идентичной аппаратурой, чего нельзя сказать об аппаратуре для регистрации геомагнитных пульсаций среднеширотных обсерваторий.

Известно, что главная ось вектора поляризации пульсаций Pi2 в средних широтах меняет свое направление от восточного к западному при переходе через полуночный меридиан. В связи с этим мы проведем исследование, как при развитии конкретной суббури ориентирована в пространстве главная ось эллипса иррегулярных пульсаций.

Был проведен анализ закономерностей возбуждения колебаний Pi2 в средних широтах при развитии авроральных суббури в различных долготных секторах российского сектора Арктики. Локализация суббуровых возмущений определялась по магнитограммам, взятым с сайта WDC Kyoto [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/plot\\_realtime](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/plot_realtime). Данные по пульсациям использовались с выносной точки «Исток» и среднеширотной станции «Иркутск» (Монды).

Анализ экспериментального материала проводился по следующей схеме: по данным магнитограмм высокоширотных обсерваторий выбирались случаи, когда возмущения были локализованы на одной из зональных станций, т. е. величина бухты *H*-компоненты существенно превышала возмущения на других станциях, либо возмущения перемещались с востока на запад при развитии глобального возмущения. Затем за выбранные интервалы по записям геомагнитных пульсаций на станции «Иркутск» определялись моменты начал всех цугов Pi2. Примеры сопоставления таких данных приведены на рис. 152, где изображены *H*-компоненты магнитограмм высокоширотных обсерваторий (*a*), аналоговые записи геомагнитных пульсаций (*b*).

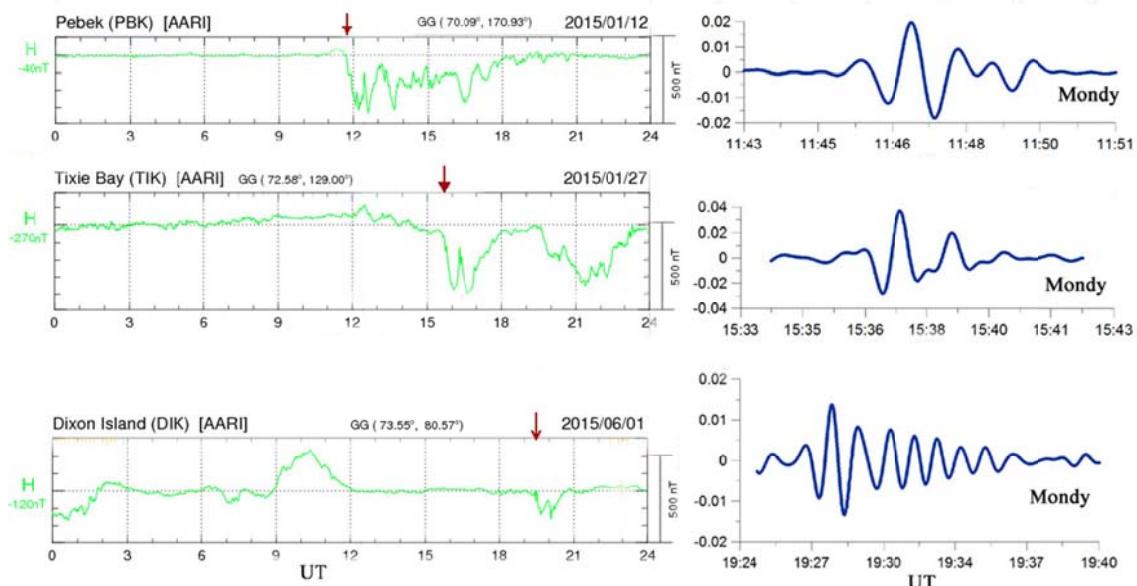


Рис. 152. Примеры сопоставления начала активной фазы суббури в авроральных широтах и соответствующие этим моментам времени наблюдения пульсаций Pi2 в обс. Монды. Слева — *H*-компоненты магнитограмм, справа — аналоговая запись пульсаций

Для обработки данных были разработаны специальные методики и программные средства.

Ниже на рис. 153 последовательно изображена процедура обработки экспериментального материала.

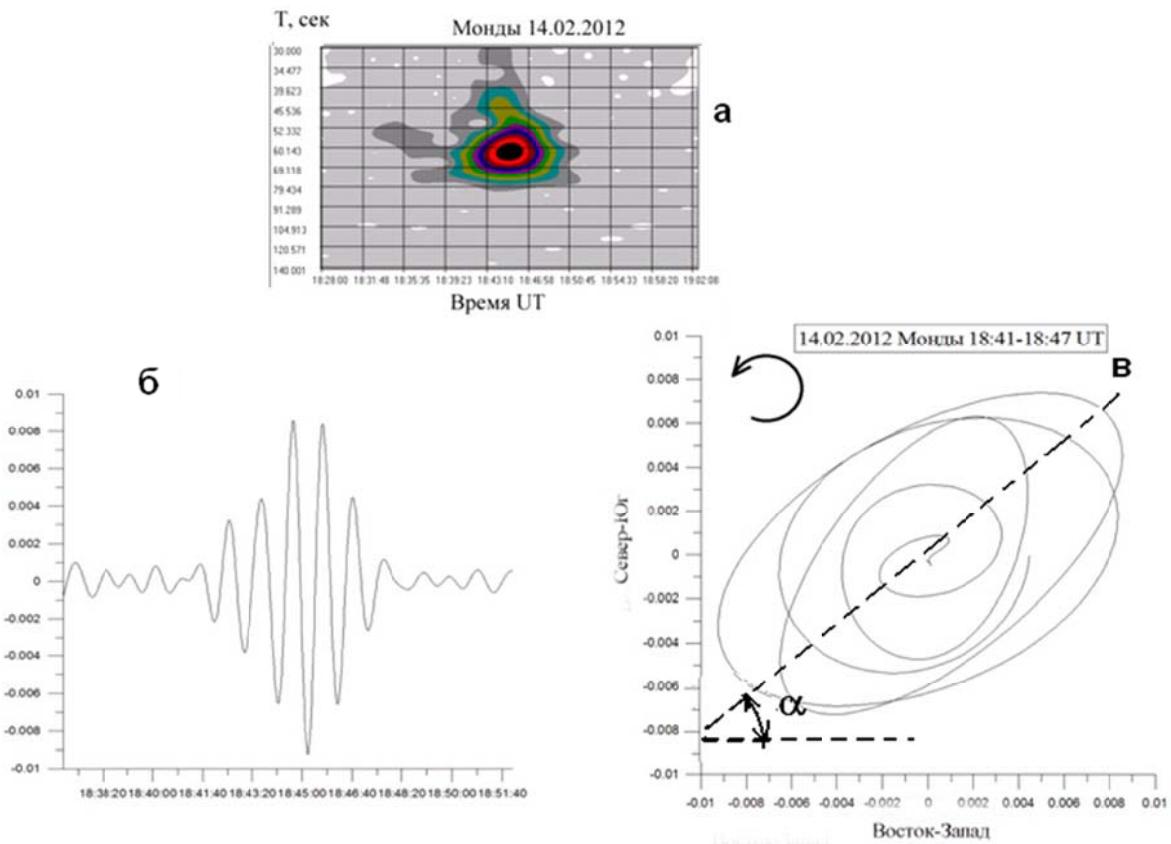


Рис. 153. Пример процедуры обработки экспериментального материала (пояснение в тексте)

Необходимые колебания обнаруживаются программой СВАН (спектрально-временной анализ, рис 153, а). Становится понятен спектр и временные характеристики колебаний. Далее данные вырезаются по времени и обрабатываются специально созданным фильтром. После этого становится возможным визуализировать их в программе Grapher-7 (рис. 153, б). Наконец, для получения поляризационных характеристик в программе Grapher-7 строится эллипс поляризации (рис. 153, в), а затем рассчитывается угол наклона главной оси эллипса поляризации  $\alpha$  (рис. 154).

Таким образом, было проанализировано несколько десятков случаев, часть из которых приведена в табл. 12. В таблице 12 приводятся названия авроральных станций с координатами, магнитные данные которых использовались в эксперименте, дата и время начала суббури в авроральных широтах и начало соответствующего цуга иррегулярных пульсаций Pi2 на обс. Монды. В последнем столбце приводятся рассчитанные по эллипсам поляризации углы  $\alpha$  (угол ориентации главной оси эллипса поляризации этих пульсаций).

Таблица 12. Параметры авроральных станций

Название обсерватории, где наблюдалось начало активной фазы суббури	Географические координаты обсерватории	Дата	Время начала суббури и пульсаций Pi2 в средних широтах	Угол $\alpha$ (град)
ПЕВЕК (PBK)	N70 E170	10.01.2015	14.10	55
		12.01.2015	11.47	60
		05.03.2015	11.46	60
		27.01.2015	12.30	50
		22.01.2015	12.15	60
		10.01.2015	14.10	55
ТИКСИ (TIK)	N71 E129	10.01.2015	12.20	75
		26.01.2015	16.37	70
		30.01.15	16.18	70
		30.01.15	17.27	60
		05.03.2015	15.15	70
		23.12.2014	20.44	70
		22.01.2015	11.07	70
ДИКСОН (DIK)	N74 E81	12.01.2015	15.40	85
		30.01.15	18.01	90
		30.01.15	18.09	90
		05.03.2015	16.15	85
		22.01.2015	19.06	90
АМДЕРМА (AMD)	N70 E62	26.01.2015	17.00	120
		30.01.15	19.50	110
		22.01.2015	17.45	105
ЛОВОЗЕРО (LOV)	N68 E23	30.01.15	20.12	140

Как уже было отмечено, для всех отобранных таким образом всплесков Pi2 рассчитывались эллипсы поляризации и определялись углы наклона главной оси.

Затем была построена зависимость угла наклона главной оси эллипса поляризации от долготы развития соответствующей суббури (рис. 154).

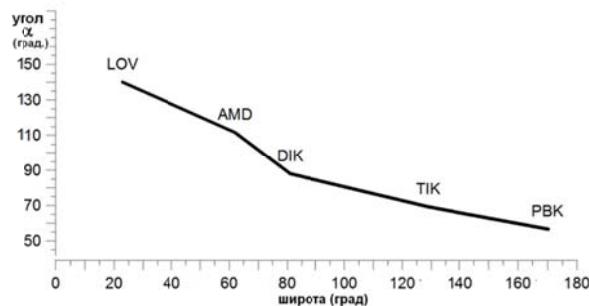


Рис. 154. Зависимость угла наклона главной оси эллипса поляризации Pi2-колебаний

Зависимость, изображенная на рис. 154, позволяет с определенной степенью достоверности оценить долготу развития суббури в авроральной зоне по наблюдениям иррегулярных пульсаций в средних широтах. Это актуально в тех случаях, когда по каким-либо причинам отсутствует регистрация вариаций магнитного поля в высоких широтах либо суббури произошла в регионе, где нет магнитной обсерватории.

Иллюстрацией предложенной методики может служить случай развития ряда последовательных суббури в авроральной зоне с постепенным перемещением области возмущения с востока на запад 5 марта 2015 г. (рис. 155).

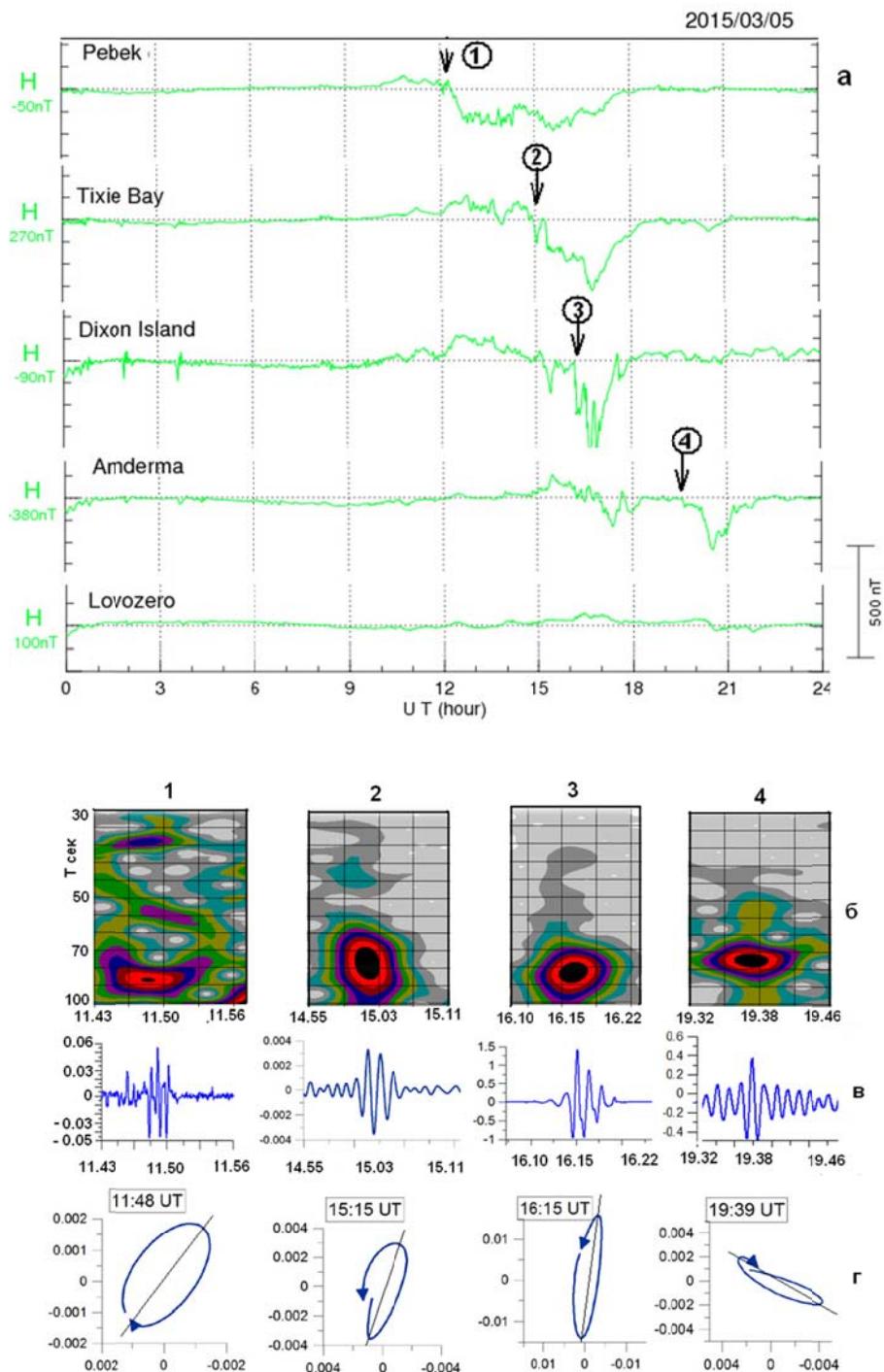


Рис. 155. Развитие магнитных возмущений в авроральной зоне (а) и синхронные наблюдения иррегулярных пульсаций в обс. Монды (б — динамические спектры, в — аналоговая запись колебаний и эллипсы поляризации иррегулярных пульсаций)

Из анализа данных рис. 155 видно, что по мере развития возмущений и перемещения области активизации с востока на запад главные оси эллипсов поляризации поворачиваются, как бы отслеживая перемещение активной области.

В заключение отметим, что подобная методика уместна в случаях слабой и умеренной магнитной активности. При значительной магнитной активности область возмущения может захватывать пространство по долготе до  $90\text{--}120^\circ$ , поэтому трудно определить приоритетное направление главных осей эллипсов поляризации геомагнитных пульсаций Pi2.

### Разработка методов определения динамических характеристик перемещающихся ионосферных возмущений по данным инфразвукового комплекса

Известно, что землетрясения часто сопровождаются акустическим излучением в инфразвуковом диапазоне частот. Впервые, это со всей очевидностью проявилось при сильнейшем землетрясении на Аляске в 1964 г. Район расположения инфразвуковой станции в Бурятии плотно прилегает к Байкальской рифтовой зоне, которая также является весьма активной сейсмической зоной. Достаточно ярко эта активность проявилась в январе 2015 г. в период мониторинга инфразвуковых сигналов сейсмической природы. За январь 2015 г. по данным сейсмической станции «Иркутск» Института земной коры СО РАН в районе Северного Байкала произошло более десяти землетрясений умеренной силы (интенсивность 3–5 баллов). Ранее при поверхностном анализе инфразвука не выделялись сигналы, явно относящиеся к сигналам сейсмической природы. И это понятно, так как сейсмические процессы средней интенсивности сопровождаются сейсмическими сигналами на частоте от единиц до десятка герц. Акустическая интенсивность таких сигналов на уровне земли обычно слаба и лежит на границах инфразвукового и звукового диапазонов, что существенно затрудняет их обнаружение. Однако при определенной интенсивности землетрясений (выше 4 баллов) уже наблюдается инфразвуковое излучение, которое, уходя вверх в атмосферу способно достигать верхних слоев атмосферы, где хорошо выражена тенденция развития неустойчивых колебаний. Такая неустойчивость связана с наличием больших отрицательных градиентов температуры на высотах выше высоты озонового слоя и соответствует высоте около 65 км. Показано, что для развития неустойчивых колебаний в этой области необходимы отрицательные градиенты температуры около  $10^\circ$ . По данным измерений со спутника «АУРА» такие отрицательные градиенты на этих высотах действительно наблюдаются. Особенно они проявились явно в период первой половины января 2015 г. и составили около 8–10 град/км. Поэтому следовало ожидать развития неустойчивых колебаний, приуроченных к достаточно сильным внешним воздействиям на атмосферу, например, землетрясения.

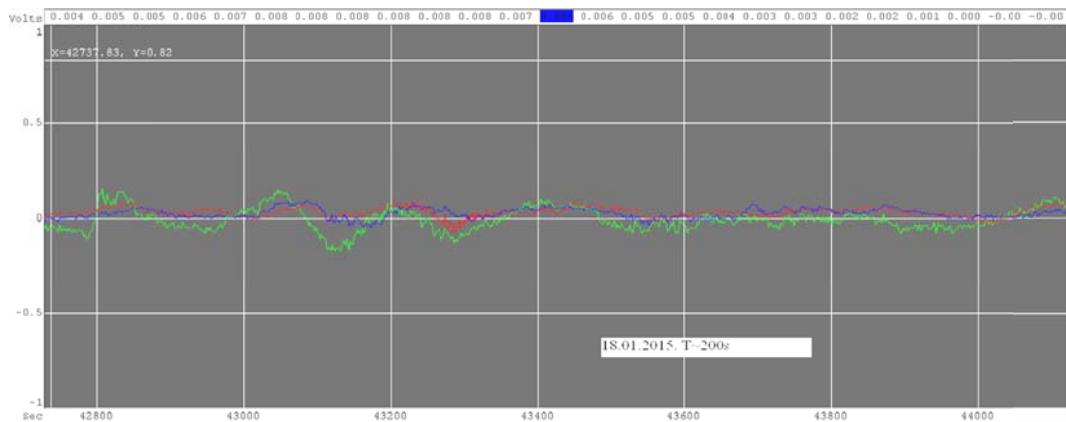


Рис. 156. Пример низкочастотного инфразвука 18.01.2015 г. Инфразвуковая станция ИСЗФ СО РАН

Были проанализированы данные регистрации инфразвука в период с низким уровнем шумов в атмосфере (они минимальны в январе 2015 г.) и обнаружены своеобразные низкочастотные инфразвуковые сигналы, предположительно связанные с сейсмическими событиями.

На рис. 156 приведен пример регистрации такого инфразвукового сигнала. По сути, это отображение физического процесса продолжительностью 1200–1500 с, декремент затухания которого характерен для волнового явления. Оценки углов прихода, сделанные по анализу кросс-корреляционных функций, и выявление временных сдвигов между соответствующими приемниками инфразвука с апертурой 500 м показывают, что углы падения инфразвукового сигнала сосредоточены в растворе углов (от вертикали) от 5 до 14° и, соответственно, горизонтальные фазовые скорости достигают довольно больших значений 1500–1700 м/с. Это свидетельствует о том, что инфразвуковой сигнал пришел с больших высот. На рис. 157 приведен динамический спектр этого сигнала, из которого видно, что наибольшая спектральная плотность мощности приходится на колебания с периодами около 200 с.

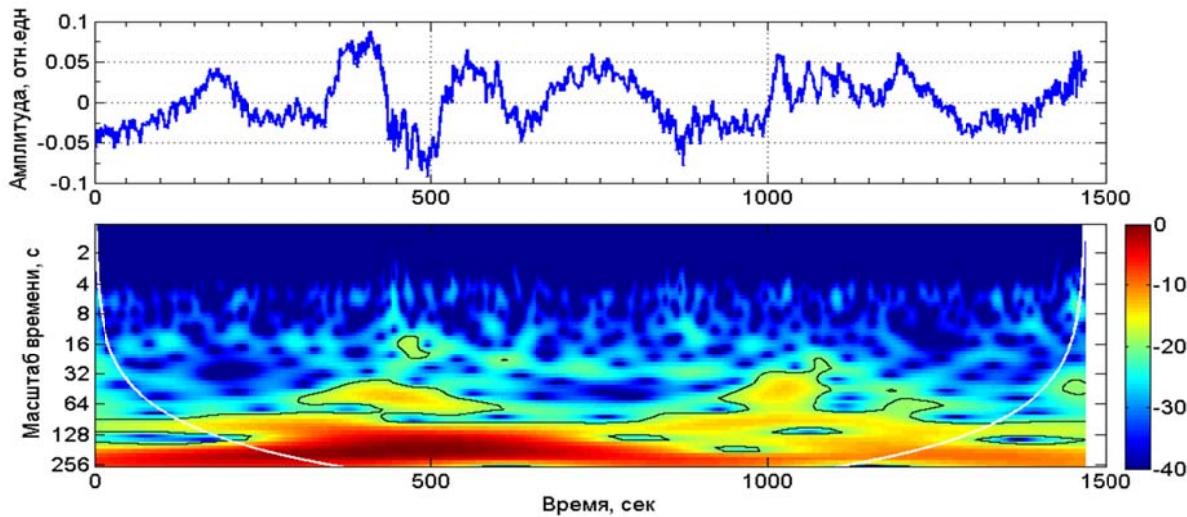


Рис. 157. Динамический спектр низкочастотного инфразвука за 18.01.2015 г

Таким образом, есть основания полагать, что низкочастотные инфразвуковые сигналы, наблюдаемые в сейсмоактивный период в январе 2015 г. на инфразвуковой станции ИСЗФ СО РАН, связаны с реакцией определенных слоев атмосферы на сейсмическое воздействие от землетрясений. В табл. 13 приведен анализ данных о наличии разных типов колебаний в районе наблюдений на инфразвуковой установке в январе 2015 г. Их распределение таково, что чаще всего наблюдаются инфразвуковые сигналы с периодами 20–40 и 50–100 с, гораздо реже сигналы с периодами от 200 с.

Таблица 13. Распределения частот колебаний инфразвука для января 2015 г.

Период, с	Число случаев	Средняя амплитуда, отн. ед.	Примечания
20–40	80	0.02–0.03	видны практически постоянно
50–100	52	0.04–0.06	наблюдаются вечером и ночью
100–200	38	0.10–0.12	появляются часто днем
200–300	18	0.14–0.15	появляются в предутренние часы

Колебания коротких периодов наблюдаются довольно часто, в том числе и в дневное время. К их источникам можно отнести природные источники микробаром (например, сходы горных лавин), а также источники антропогенного происхождения (реактивные самолеты, промышленные взрывы и т. д.). Действительно, энергетически сложнее, возбудить низкочастотный процесс, чем короткопериодический. Такие процессы обычно связаны с

большими пространственными масштабами. Возможно, поэтому низкочастотные сигналы часто приходятся на периоды высокой сейсмической активности, которые также часто имеют нелокальный характер.

Ниже мы приведем для сравнения и анализа график наблюдаемых изменений периодов инфразвуковых сигналов в январе 2015 г. (рис. 158) и график самой сейсмоактивности (энергетический класс) в районе Байкала по данным сейсмостанции «Иркутск» (рис. 159).

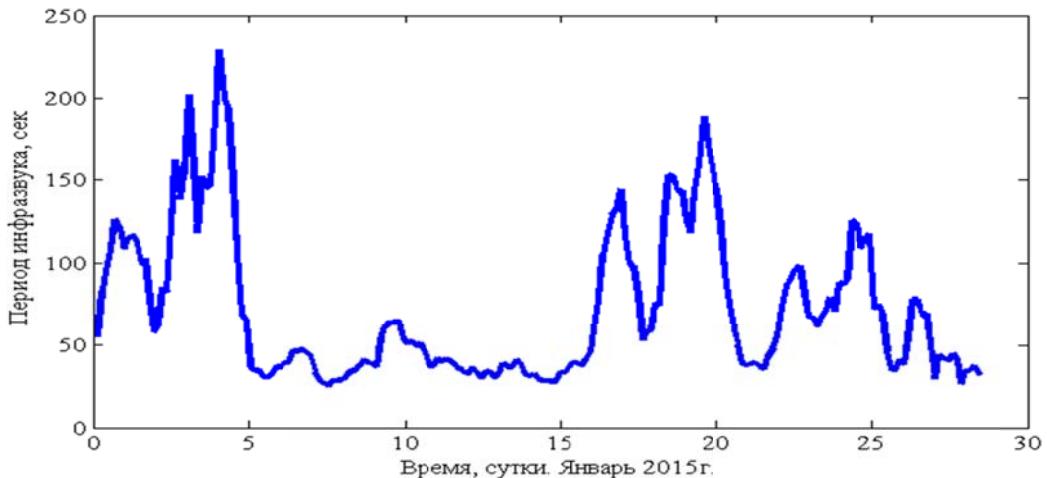


Рис. 158. Вариации периодов НЧ инфразвука. Январь 2015 г.

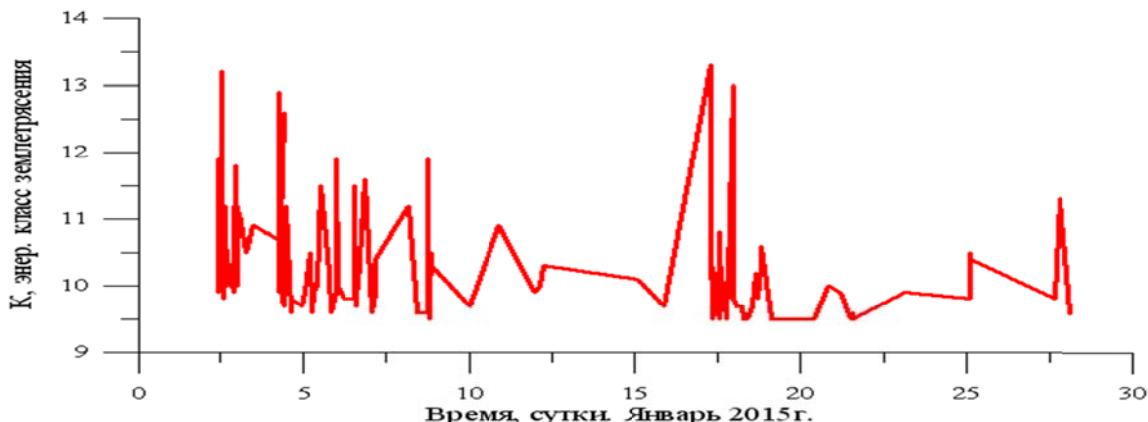


Рис. 159. Характер сейсмической активности (энергетический класс землетрясений). Январь 2015 г.

Видно, что 3–5 января 2015 г. в период резкого усиления интенсивности землетрясений до 13 и выше класса, а также 15–18 января 2015 г. заметен отклик в вариациях периодов низкочастотных инфразвуковых колебаний, наблюдавшихся на станции ИСЗФ СО РАН. Результаты работы на сегодня являются предварительными, и далее требуется анализ большей статистики наблюдений.

### Выводы

В этом разделе отчета были проанализирована возможность возбуждения инфразвуковых НЧ-колебаний на высоте атмосферы, где возникают большие отрицательные градиенты температуры.

Обнаружена тесная связь сейсмической активности (значения энергетического класса землетрясений, произошедших на Северном Байкале в январе 2015 г.) и периодов низкочастотного инфразвука в Байкальском регионе.

## Исследование неоднородностей электромагнитного поля Земли в зоне Байкальской рифтовой зоны (БРЗ)

Байкальская рифтовая зона (БРЗ) находится на границе Ангарской плиты Алданского щита и Забайкальской плиты, которые, активно взаимодействуя между собой, способствуют формированию Байкальской впадины, а также прилегающих к Байкалу территорий. БРЗ включает в себя котловину озера Байкал, Тункинскую долину до о. Хубсугул. В районе Байкальского рифта есть все признаки растяжения и сжатия: в котловине Байкала и в долине р. Ангары наблюдается растяжение, в Тункинской долине — сжатие.

Байкал имеет многие черты, присущие океану: абиссальные глубины, громадную массу воды, внутренние волны, приливы, сильные штормы, высокие волны, расширение котловины за счет раздвижки берегов, аналогичное расхождению континентов Африки и Южной Америки, большие величины магнитных аномалий и др.

Поэтому Байкал всегда представлял большой интерес в плане изучения магнитных аномалий, но, к сожалению, до сих пор нет детального описания поведения геомагнитного поля в БРЗ. Исследования проводились эпизодически, без согласованного плана.

Директор магнитной обсерватории Иркутска А.В. Вознесенский обобщил магнитные наблюдения на о. Байкал, проведенные до 1905 г. в своей работе «Магнитные наблюдения на озере Байкал» [20]. Данные по магнитному склонению получены более чем 40 пунктах в Байкальском регионе. Все данные приведены к эпохе 1903 г.

В 1970-е гг. в связи с дальнейшим освоением Байкала назрела острая необходимость создания современных навигационных карт и лоции озера Байкал. Для этого потребовалось провести новые исследования на озере с применением высокоточных методов и средств гидрографии. Такие исследования были выполнены на Байкале в 1979–1986 гг. комплексным экспедиционным отрядом, выделенным из 1-ой Тихоокеанской океанографической экспедиции, базировавшейся в г. Находке. Проводились также и магнитные наблюдения.

С 1980-х гг. массовые магнитные измерения в БРЗ для изучения магнитного поля практически не проводились.

Кроме того, данные по магнитному полю БРЗ — это только аномалии модуля полного вектора магнитной индукции  $F$ , частично дополненные вариационными профильными измерениями компонент  $H$  и  $Z$ . Измерения полного вектора магнитного поля (компоненты  $D$ ,  $I$ ,  $Z$ ,  $F$ ) не выполнялись. В связи с этим в 2015 г. продолжались абсолютные измерения компонент магнитного поля ( $F$ ,  $D$ ,  $I$ ,  $H$ ,  $Z$ ) в БРЗ. Основной целью работы 2015 г. с использованием аппаратуры мирового уровня, являлось получение максимально точных и достоверных современных методик наблюдения и обработки данных.

В октябре–ноябре проводились измерения абсолютных компонент магнитного поля ( $F$ ,  $D$ ,  $I$ ,  $H$ ,  $Z$ ) в Тункинской долине (поперечный профиль в районе обс. Торы) и западного побережья центральной части о. Байкал (в районе п. Сарма, Танжераны, МРС).

**Используемая аппаратура и методика измерений.** В эксперименте использовалась следующая аппаратура, применяемая при магнитных измерениях.

- Оверхаузеровский протонный магнитометр POS-1 — высокоточный прибор, работающий на эффекте Оверхаузера. Предназначен для измерения модуля геомагнитного поля. Во время экспедиции использовались магнитометр POS-1 (разработка лаборатории квантовой магнитометрии УГГУ-УПИ, г. Екатеринбург).
- DI-магнитометр Theo-015BMag01H — геофизический прибор для измерения склонения  $D$  и наклонения  $I$  вектора индукции магнитного поля Земли.

Методика измерений DI-магнитометром стандартная, рекомендованная Положениями Международной сети магнитных обсерваторий Intermagnet.

**Калибровка, сверка и тестирование аппаратуры.** Применяемая при магнитных наблюдениях аппаратура прошла сверку на XVI совещании IAGA (г. Хайдерабад, Индия, октябрь 2014 г.) по инструментам, системам сбора и обработки на магнитных обсерваториях.

Совещание было фактически единственной специализированной площадкой международного уровня, где можно было провести калибровку и сверку магнитометрической аппаратуры и встретиться с ведущими магнитологами, которые разрабатывают стандарты и определяют пути развития мировой сети Intermagnet.

Во время измерительно-инструментальной сессии были проведены калибровочные и сверочные измерения с использованием DI-магнитометра Theo-015BMag01H, протонного магнитометра POS-1 Магнитной обсерватории «Иркутск». По результатам проведенных наблюдений приборы признаны соответствующими требованиям Intermagnet.

**Выбор профилей для магнитной съемки, их характеристика.** Предварительный маршрут для проведения профильных измерений был определен исходя из результатов наблюдений 2009–2013 гг.

Как наиболее интересное и доступное место предварительных наблюдений в Тункинской долине был выбран район обсерватории Торы. По наблюдениям 2010 г. были получены данные, свидетельствующие о сильной магнитной аномалии. Эта аномалия отсутствует на картах магнитного склонения и не подтверждена по другим источникам. Необходимо было провести повторные наблюдения.

Выбор пунктов наблюдений на западном берегу Байкала объясняется следующими обстоятельствами. Во время экспедиций 2009–2010 гг., а также эпизодических наблюдений 2011–2013 гг. достаточно подробно (расстояние между пунктами порядка 5–10 км) была проведена магнитная съемка центральной акватории оз. Байкал (наблюдения на льду) и о. Ольхон (за исключением недоступных на автотранспорте мест). Было обнаружено значительное различие значений компонент магнитного поля и значений, полученных на опорной магнитной станции «Иркутск» [26]. Так, магнитное склонение  $D$  по данным станции «Иркутск» составляет чуть более  $-3^\circ$ , а по результатам экспедиций от  $-5.5^\circ$  до  $-7^\circ$ . Магнитная обсерватория расположена на Ангарской плите Алданского щита, а оз. Байкал и о. Ольхон входят в состав БРЗ. Была сделана попытка на основе магнитных наблюдений определить район перехода от магнитной аномалии БРЗ к области основного регулярного магнитного поля.

**Результаты наблюдений.** Наблюдения в обс. «Торы» в южной части Тункинской долины проводились по координатам 2010 г. По результатам наблюдений магнитное склонение уменьшается на  $2.5^\circ$  на расстоянии менее чем 3 км от южного края Тункинской долины к центру. Такая значительная аномалия несомненно связана с геологическими структурами южной части Тункинской долины (рис. 160).

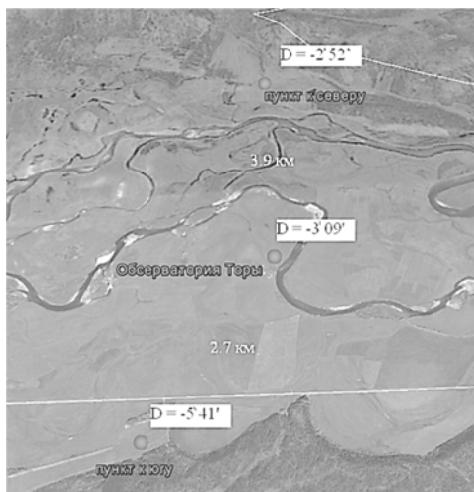


Рис. 160. Карта магнитной аномалии Тункинской долины в районе обсерватории «Торы»

В целом значения компонент геомагнитного поля на западном берегу оз. Байкал по результатам наблюдений соответствуют значениям, полученным в БРЗ на о. Ольхон и центральной части оз. Байкал. Магнитное склонение  $D$  составляет около  $-5^\circ$ , что на  $2^\circ$  отличается от склонения на МО «Иркутск». Значения горизонтальной составляющей  $H$  показывают значительный разброс по точкам наблюдений в несколько сотен нанотесла, но все же  $H$  значительно меньше, чем в Иркутске. Значения  $Z$ -компоненты на 500–600 нТл выше, чем в Иркутске и близки значениям  $Z$  в рифтовой зоне.

Таким образом, по результатам проведенных наблюдений значения компонент геомагнитного поля на западном берегу оз. Байкал больше соответствуют значениям в рифтовой зоне на о. Ольхон и центральной части оз. Байкал, чем значениям по измерениям в обс. «Иркутск», расположенной на Алданском щите.

Проведенные измерения показали, что практически для всех компонент магнитного поля, наблюдавшихся в районе обсерватории «Торы» и на западном берегу оз. Байкал, имеются аномальные отклонения относительно значений, получаемых на опорной станции «Иркутск».

**Долговременные изменения геомагнитного поля (вековой ход).** Один из важных вопросов – выяснение характера поведения компонент магнитного поля Земли в различных точках на протяжении нескольких последовательных лет. Эти изменения связаны с процессами в слоях ниже земной коры и проявляют себя различным образом в разных районах с разными геологическими структурами.

В нашем распоряжении есть график векового ход по данным магнитной обсерватории «Иркутск» с конца 19 века и данные наблюдений за пять лет (2010–2014 гг.) в одном и том же пункте в обсерватории «Торы» в Тункинской долине  $51^\circ 48' 40.1''$  N,  $103^\circ 04' 48''$  E.

По результатам анализа измерений изменения во всех трех компонентах магнитного поля и в Иркутске и в Торах аналогичны: значения  $F$  и  $Z$  увеличиваются, значения  $H$  уменьшаются, значения  $D$  также уменьшаются (табл. 14). При этом скорость изменения значений магнитного поля в Торах в среднем в два раза выше и при этом увеличивается.

Таблица 14. Изменение значений компонент поля по наблюдениям в Торах

Год наблюдения	Разность значений полного вектора $F$ , нТл	Разность значений склонения $D$ , угл. мин.	Разность значений $H$ -компоненты, нТл	Разность значений $Z$ -компоненты, нТл
2010–2011	–15	1	30	–24
2011–2012	13	–7.8	92	–17
2012–2013	–23	4.8	22	–31
2013–2014	–21	11.7	101	–57

Возможно, это связано с тем, что Тункинская долина в целом и район п. Торы являются частью БРЗ. Тункинская долина испытывает сжатие и является сейсмоактивной зоной. В то же время обсерватория «Иркутск» находится на материковой платформе.

Конечно, пять лет измерений – малый промежуток времени, чтобы делать определенные выводы. Необходимо дальнейшее накопление рядов наблюдений элементов магнитного поля Земли в этой точке.

**Исследование профилей компонент геомагнитного поля по оси Иркутск–Ольхон–Ушканы о-ва.** В результате проведенных геомагнитных наблюдений выяснилось, что существует крупномасштабная магнитная аномалия в центральной части оз. Байкал, включая западное побережье и о. Ольхон. Для определения границ этой аномалии был построен профиль компонент геомагнитного поля. Основной массив наблюдений был получен на оси, включающей в себя Иркутск–Ольхон–Ушканы о-ва, т. е. практически вдоль меридиана. Поэтому значения компонент поля  $D$ ,  $H$ ,  $Z$  приводятся в зависимости от широты.

Для определения границ и характера аномалии не хватает пунктов наблюдения. Поэтому было решено воспользоваться архивными материалами А. Вознесенского. Его данные приведены к 1903 г. и включают только величины магнитного склонения  $D$ . Резкое изменение магнитного склонения происходит в районе  $52.60^{\circ}$  N.

Более точно определить не только линейные (в азимутальном направлении), но и пространственные границы аномалий можно только при проведении дополнительных наблюдений.

В 2015 г. получены следующие результаты:

1. Проведен анализ архивных материалов по исследованию магнитного поля оз. Байкал. Наиболее полным является исследование А. Вознесенского, который обобщил магнитные наблюдения начиная с XVIII в.

2. Впервые проведена экспедиция по измерению трех компонент геомагнитного поля на западном побережье центральной части оз. Байкал (четыре пункта, 11 наблюдений). Проведены повторные абсолютные измерения в районе обсерватории «Торы» в Тункинской долине (три пункта, 10 наблюдений).

3. Подтверждено наличие сильной магнитной аномалии в районе обс. «Торы». Магнитное склонение на расстоянии менее 3 км изменяется на  $2.5^{\circ}$ . В центральной и северной частях Тункинской долины значение склонения примерно соответствует склонению  $-3^{\circ}$  в обсерватории «Иркутск», в то время как у южного края долины склонение составляет  $5.7^{\circ}$ .

4. Установлено, что значения компонент магнитного поля на западном берегу оз. Байкал в общем соответствуют значениям, полученным для о. Ольхон и центральной акватории оз. Байкал.

5. Впервые проведен анализ векового хода в Тункинской долине (р-он обс. «Торы», 2010–2014 гг.). Изменения во всех трех компонентах магнитного поля и в Иркутске и в Торах аналогичны: значения  $F$  и  $Z$  увеличиваются,  $H$  и  $D$  уменьшаются. При этом скорость изменения значений магнитного поля в Торах в среднем в два раза выше и при этом увеличивается.

6. Для определения границ магнитной аномалии центрального Байкала результаты экспедиций 2009, 2010, 2014 г. представлены в виде профиля по оси Иркутск–Ольхон–Ушканьи о-ва. На профиле отчетливо прослеживается аномалия, но для более точного пространственного определения границ не хватает пунктов наблюдений.

7. Используя архивные данные, приведенные к эпохе 1903 г., построен аналогичный профиль. Согласно архивным данным, граница магнитной аномалии по оси Иркутск–Ольхон–Ушканьи о-ва лежит около  $52.6^{\circ}$  N.

#### *Зависимость интенсивности космических лучей (нейтронная составляющая) от грозовых разрядов*

В мае 2015 г. в Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН на горе Хулугайша (3000 м) в дополнение к существующей системе регистрации атмосферного электричества был установлен флюксметр с чувствительностью от  $-6000$  до  $30000$  В, калибранный для регистрации грозовых разрядов. Одновременно ведется регистрация нейтронной составляющей космических лучей (КЛ). Статистическая ошибка минутных значений интенсивности КЛ составляет  $\sim 0.63\%$  ( $1/N=25000$ ) $^{0.5}$ . Для контроля электромагнитных помех к системе регистрации КЛ вне нейтронного супермонитора НМ-64 был подключен счетчик СНМ15 без газа  $BF_3$ . На нить счетчика подается высокое напряжение порядка 2100 В, выход подключен к двум усилителям с различными порогами дискриминации: усилитель 1 (0.2 В), усилитель 2 (0 В), счетчики НМ-64 работают с порогом дискриминации 0.2 В. Предполагалось, что флюксметр будет регистрировать поле напряженностью порядка киловольт на метр, т. е. грозовые разряды. Одновременно регистрируются электромагнитные помехи и интенсивность КЛ.

К сожалению, флюксметр в июле вышел из строя (неисправен бесколлекторный мотор), а за период его работы с 13 мая по 12 июля 2015 г. гроз не наблюдалось.

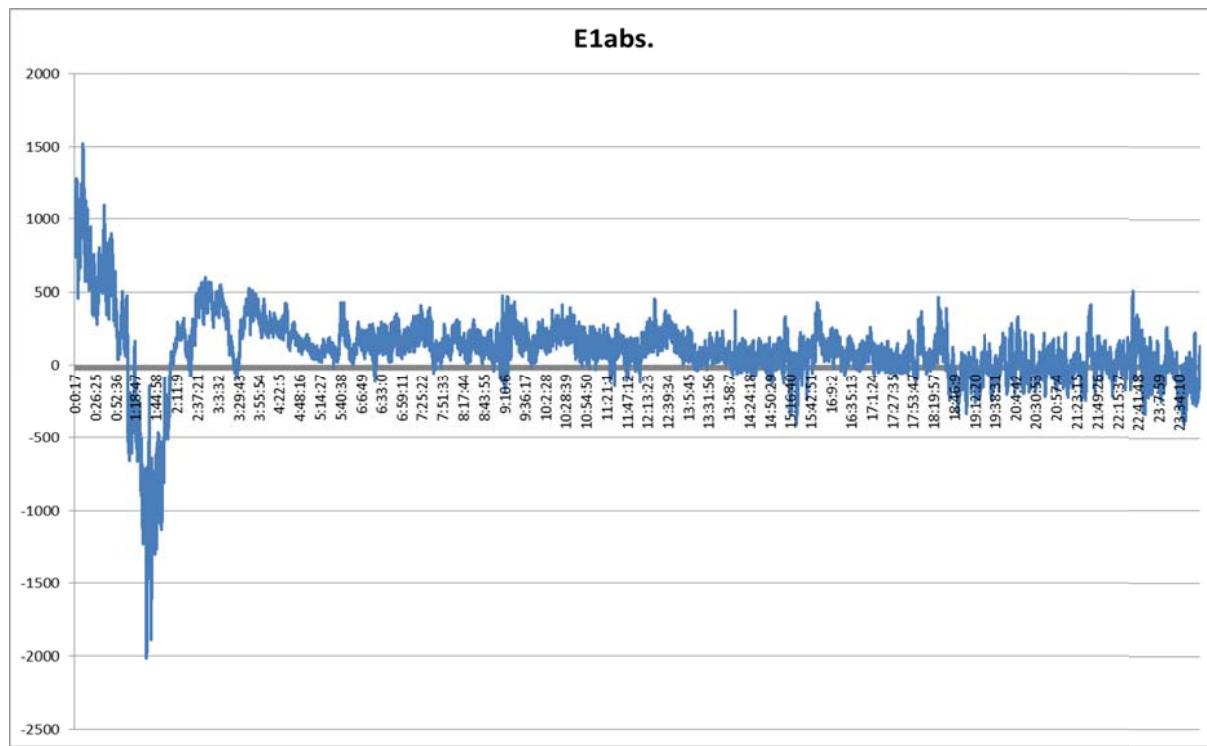


Рис. 161. Пример записи поля  $E$  26 июня 2015 г. Ось Y — в В/м

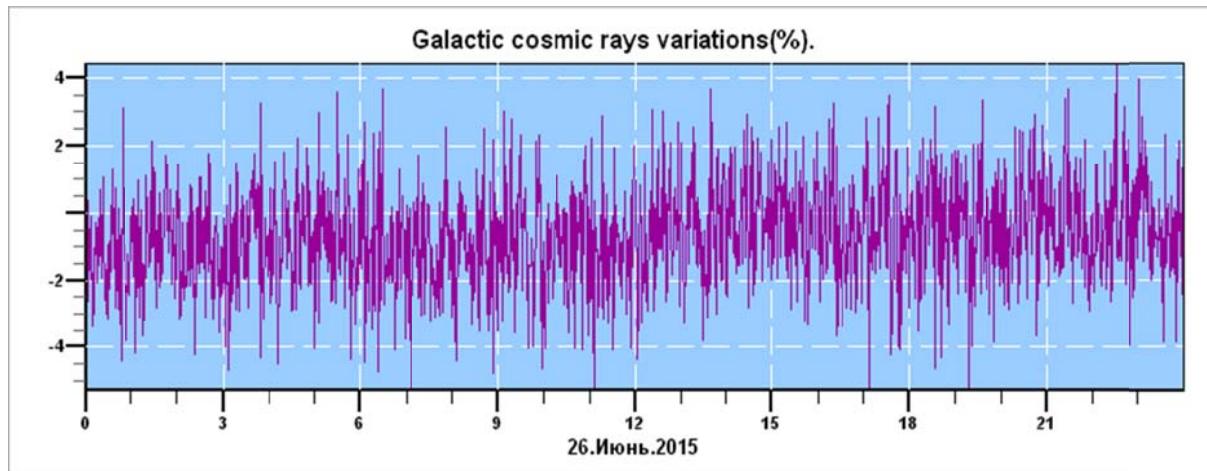


Рис. 162. Пример записи интенсивности КЛ 26 июня 2015 г.

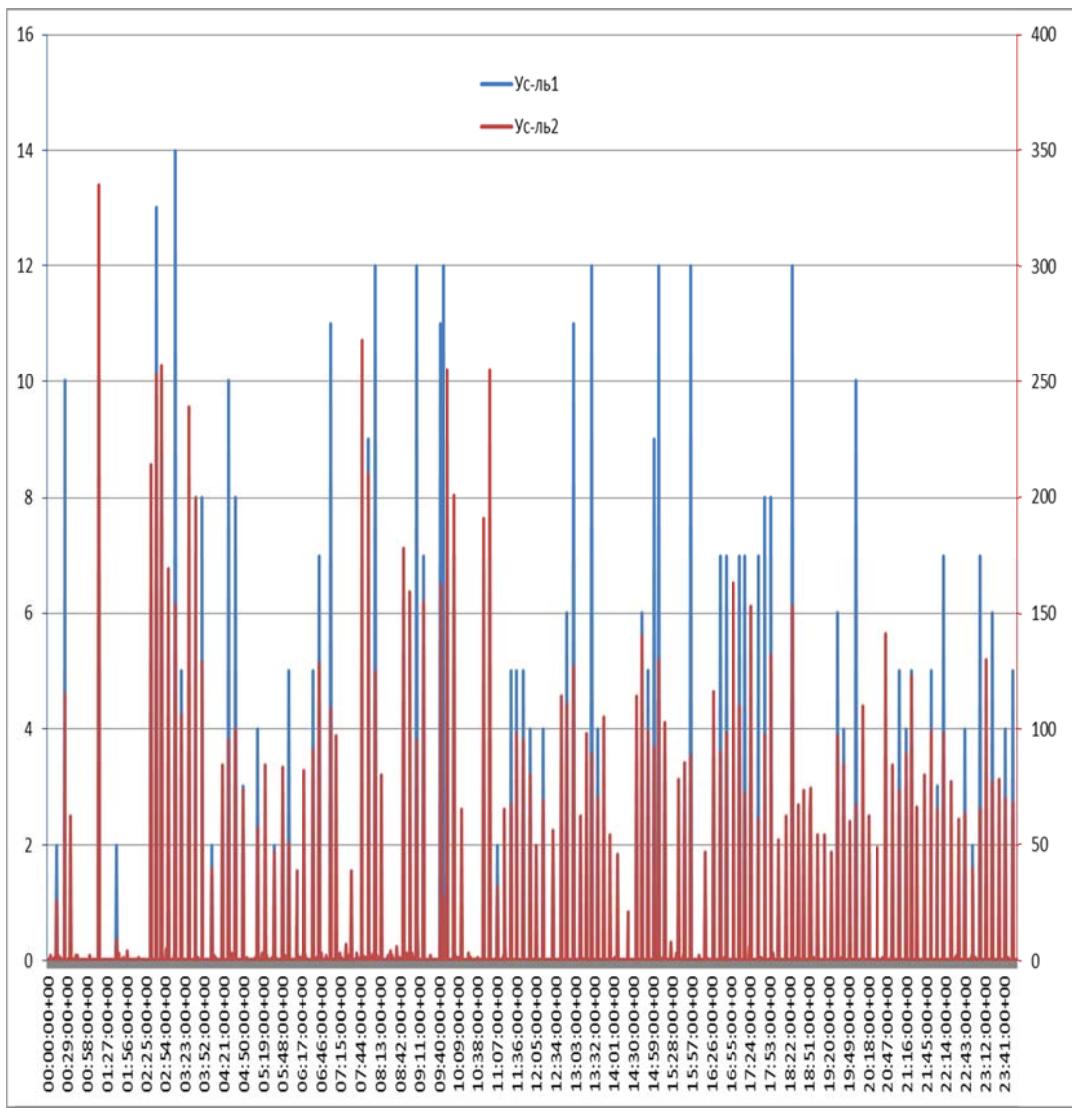


Рис. 163. Пример записи электромагнитных помех, наводимых на счетчике CHM15 26 июня 2015 г.

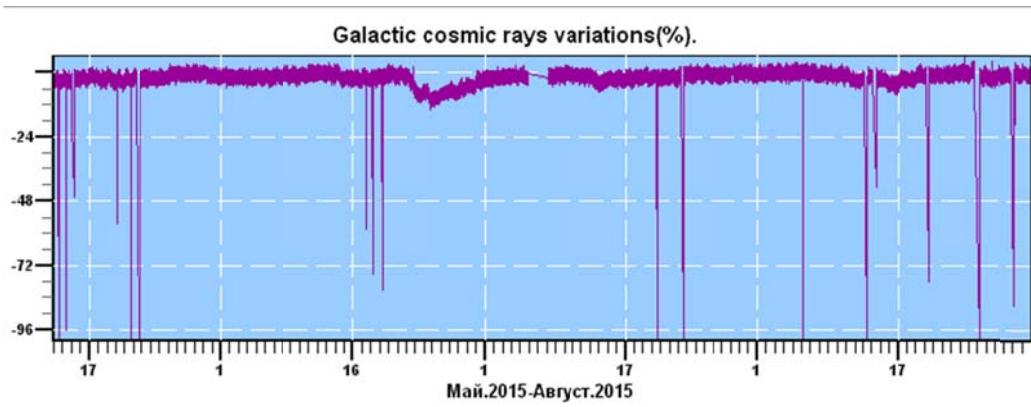


Рис. 164. Пример записи интенсивности КЛ (в процентах) с 13 мая по 31 августа 2015 г. станции космических лучей расположенной в ССО ИСЗФ СО РАН гора Жулугайша 3 000 м над уровнем моря

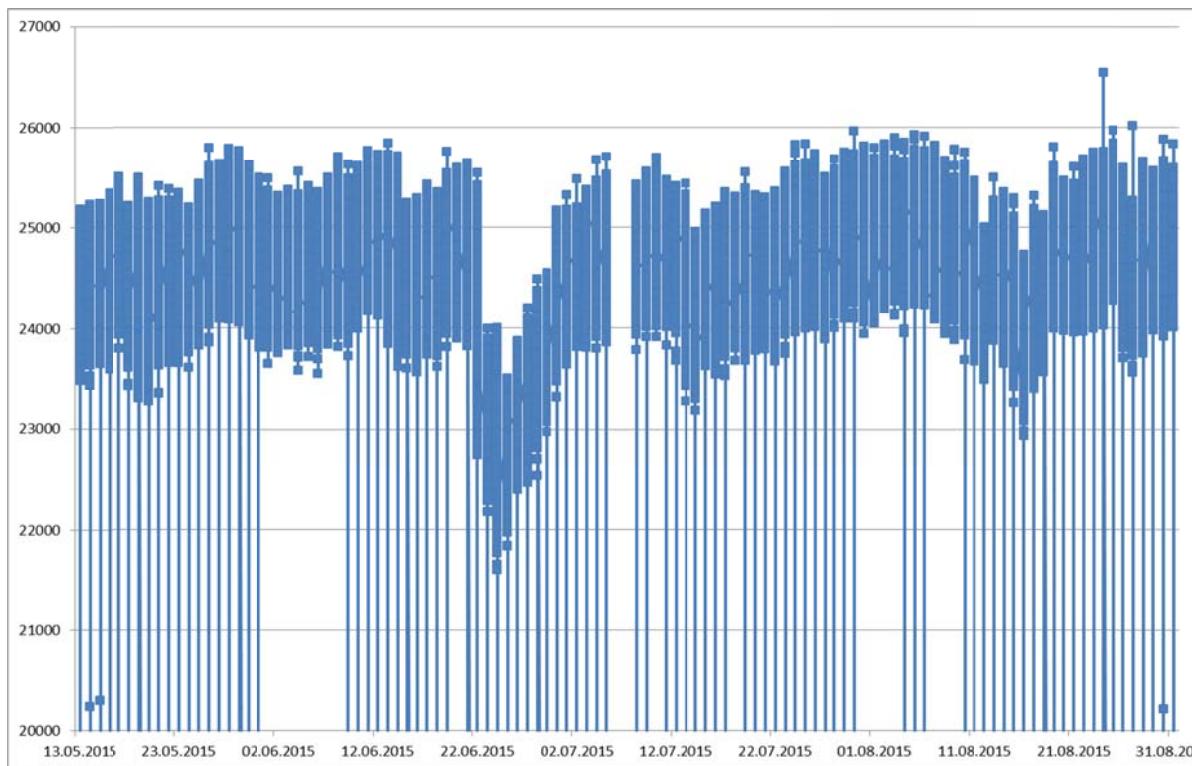


Рис. 165. Пример записи интенсивности КЛ (в импульсах) с 13 мая по 31 августа 2015 г. на станции космических лучей Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН (гора Хулугайша, 3000 м над уровнем моря)

На рис. 161 представлен пример записи градиента потенциала 26 июня 2015 г. Видно, что с 0:40 по 2:08 UT имеется какое-то возмущение поля до  $-800$  В/м. На рис. 162 за этот же период показана запись супермонитора HM64, при этом каких-либо повышений интенсивности не наблюдается.

Вывод: предварительно можно сказать, что какого-либо увеличения интенсивности КЛ в пределах статистической погрешности по длинному ряду данных (рис. 164, 165) с мая по конец августа 2015 г. не наблюдается.

## 5. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики

Научные исследования выполнялись в отделах физики Солнца и радиоастрофизики.

Приоритетное направление II.16. Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач.

1. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.16.1 «Фундаментальные проблемы процессов космической погоды, включая процессы на Солнце, в межпланетной среде, магнитосфере и атмосфере Земли. Контроль и экология околоземного космического пространства» (координатор – академик Г.А. Жеребцов).

1.1. Проект II.16.3.3 «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Рег. номер 01201281648. Руководитель проекта – д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой.

## **5.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента**

### **Разработка и создание перспективных проблемно-ориентированных телескопов и приборов**

#### **Фазовые пластинки из полимерных материалов для поляризационных измерений**

Фазовые пластинки используются в поляриметрии небесных объектов, измерении магнитных полей, для исправления инструментальной поляризации телескопов, в интерференционно-поляризационных фильтрах. Широко распространены фазовые пластинки из природных кристаллов слюды и кварца. Однако в современных исследованиях требуются пластинки с максимальными параметрами – расширенным угловым и рабочим полями. Поэтому альтернативой природным кристаллам могут стать полимерные материалы, обладающие искусственно вызванной анизотропией.

Были исследованы свойства напряженного поликарбоната, разработана технология обработки, определены методы контроля его оптических характеристик и приведены параметры новых полуволновых и четвертьволновых пластинок диаметром 70 мм для длины волны 6303 Å. Малая величина двупреломления в поликарбонате позволяет изготавливать пластинки нулевого порядка интерференции с толщиной, удобной для оптической обработки; низкая твердость делает поликарбонат легко обрабатываемым, а монолитность и оптическая однотолщинность дают возможность изготавливать пластинки большего размера, чем пластинки из пленок или кварца.

#### **Методика исследования и результаты**

Проделанная работа условно разделена на следующие этапы: исследование и отбор материала, обработка и сборка фазовых пластинок.

Выбор материала осуществлялся по двум основным параметрам: (1) пропускание в диапазоне от ультрафиолетовой до инфракрасной области спектра, и (2) однородность двойного преломления по поверхности (использовались компенсаторы Бабине, Солейля и спектрофотометр). Из-за наличия в некоторых образцах поликарбоната добавок для защиты от ультрафиолетового разрушения, рабочий диапазон пропускания этих образцов начинается с области 4000 Å. Параметр оптической неоднородности связан с тем, что поликарбонат получают из гранул методом экструзии. Поэтому создаваемое механическое напряжение распределено неравномерно по площади готового листа. В качестве критерия принято, что допустимое отклонение по двойному преломлению для заготовок составляет  $\pm 0.1$  порядка интерференции.

Определение целого порядка интерференции можно проводить двумя методами: по смещению нулевой полосы на кварцевом клине компенсатора Бабине и по канавчатому спектру, полученному на спектрофотометре, оба способа взаимно дополняют друг друга. Оценку дробной части можно осуществлять на любом из трех компенсаторов (Бабине, Солейля, Сенармон) или по канавчатому спектру с высоким разрешение на спектрографе за счет измерения дополнительной фазы, которая вносит исследуемая пластинка к образцам с высоким порядком интерференции. Зависимость фазового сдвига от длины волны в поликарбонате представлена на рис. 166, который содержит пять кривых, относящихся к пяти образцам поликарбоната разной толщины (толщины указаны около каждой кривой). Дисперсия двойного преломления в поликарбонате различна для каждой кривой, что позволяет подбирать материал в зависимости от требуемых параметров.

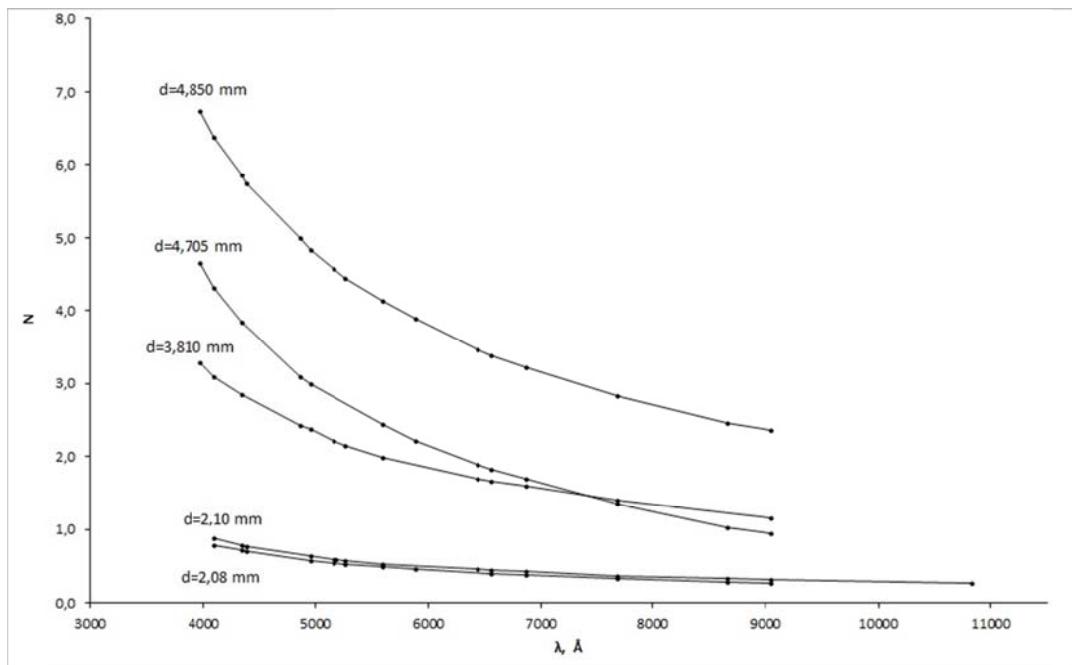


Рис. 166. Дисперсия двойного преломления разных образцов поликарбоната

В табл. 15 представлены значение толщин пяти образцов, их порядок интерференции, толщина на один порядок и разность показателей обыкновенного и необыкновенного лучей для длины волны 6303 Å.

Таблица 15. Оптические характеристики образцов поликарбоната

$d$ , mm	$N$ ( $\pm 0.015$ )	$d/N$ , mm	$n_o - n_e$
2.08	0.427	4.916	0.00013
2.10	0.468	4.439	0.00014
3.81	1.779	2.141	0.00029
4.705	2.020	2.328	0.00027
4.85	3.642	1.361	0.00047

Данные показывают, что, поскольку толщина пластинки будет составлять несколько миллиметров, изготовить пластинку нулевого порядка из поликарбоната технологически проще, чем из кварца или шпата, толщины которых в первом порядке для длины волны 6303 Å составляют соответственно 69.63 и 3.696 мкм. При этом малое значение двупреломления делает фазовый сдвиг менее чувствительным к наклону пластинки.

На рефрактометре по углу полного внутреннего отражения был определен показатель преломления поликарбоната  $n=1.5842$ .

### Обработка поликарбоната

Для повышения точности определения двупреломления и чистоты поверхности, была разработана технология оптической обработки поликарбоната. Этапы обработки — шлифовка и полировка — проводились на станке для двусторонней обработки (рис. 167) при постоянной подаче абразивной суспензии. Шесть пластинок помещаются в сепаратор между двумя вращающимися шлифовальниками/полировальниками.



Рис. 167. Станок для двусторонней оптической обработки: 1 — сепаратор, 2 — окна для деталей, 3 — планшайбы, 4 — подача суспензии

Шлифовка осуществлялась связанным абразивом (абразивная бумага фирмы Buehler из карбида кремния) в три этапа с постепенным уменьшением размера абразивного зерна. Использовали именно связанный абразив, так как при этом увеличивается скорость съема материала и не идет шаржирование (внедрение) абразивного зерна в поликарбонат. Контроль плоскостности, однородность съема и мата на поверхности деталей достигался подбором оптимальных режимов работы станка.

Следующий этап — полировка. Здесь особое внимание уделялось химико-механическому полированию (ХМП). Поскольку поликарбонат — достаточно мягкий материал, ХМП подходит лучше, чем механическое полирование (МП). Главной целью этого этапа было получение деталей с хорошей поверхностью, что подразумевает уменьшение мелких царапин и ласин, сохранение плоскостности, а также наличие волнового фронта не более 5 колец (1.25 мкм).

Суспензия для ХМП — трехкомпонентная система, содержащая воду, твердую фазу (8–12 % масс) и химические компоненты. В ходе полирования использовалось два вида абразива — оксид церия и оксид алюминия, отличающиеся по твердости, размеру и форме зерна порошки, а в качестве химического компонента использовался агрессивно действующий на поликарбонат растворитель, концентрация которого подбиралась экспериментально.

### Сборка фазовых пластинок

Полуволновые и четвертьволновые пластинки  $\lambda=6303$  Å были собраны из двух пластинок (общая толщина примерно 10 мм), с использованием иммерсии Dow Corning 705 с показателем преломления 1.587, близким показателю преломления поликарбоната, которые дают нулевой порядок за счет разворота одноименных осей на  $90^\circ$ . Одноименные оси определялись на компенсаторе Бабине. Развернутые пластинки фиксировались герметиком. Фазовый сдвиг определялся на компенсаторе Сенармона. Характеристики полученных пластинок представлены в табл. 16.

Таблица 16. Технические характеристики фазовых пластинок

Фазовый сдвиг ( $\pm 0.015$ )	$\lambda/2$ (180°)	0.48; 0.47; 0.46
	$\lambda/4$ (90°)	0.27; 0.25; 0.24; 0.26
Волновой фронт		3–5 колец (0.75–1.25 мкм)
Рабочий диаметр		70 мм

Фазовые пластиинки из полимерных материалов, обладая рядом преимуществ перед пластиинками из природных кристаллов, постепенно внедряют в оптические системы телескопов для поляризационных измерений. Применение поликарбоната в качестве материала фазовых пластиинок сделано впервые. Ближайшая перспектива — исследовать другие полимерные монолитные материалы, такие как полиэтилентерефталат, полиметилметакрилат, для изготовления ахроматических фазовых систем.

### **Модернизация хромосферного телескопа. Новый свет**

В связи с заменой ранее используемой ПЗС-камеры на телескопе на другую матрицу, вдвое меньшего размера, необходимо было рассчитать и изготовить новый перестраивающий объектив, так как временно используемый коммерческий объектив не давал хорошего качества изображения. Выгорание в солнечном пучке пленочных покрытий металло-диэлектрического теплофильтра (МДМ), установленного перед интерференционным фильтром (ИФ), привело к появлению разной яркости изображения по полю зрения. Сразу было видно, что она вызвана неоднородностью полосы пропускания предварительного фильтра. Мы также обнаружили дефекты на поляризационных элементах интерференционно-поляризационного фильтра (ИПФ) — расклейки и трещинки. За долгие годы эксплуатации была нарушена центрировка оптики хромосферного телескопа, фильтр оказался смещенным и краевые дефекты его оптической стопы также попали в поле зрения.

Работы по модернизации телескопа выполняются в два этапа.

В 2015 г. выполнен первый этап — изготовлены поляризационные элементы ИПФ. Разработана методика и выполнена юстировка оптической стопы. Исследованы оптические характеристики ИПФ.

### **Интерференционно-поляризационный фильтр**

На хромосферном телескопе Байкальской астрономической обсерватории был установлен На-фильтр фирмы Halle. В фильтрах поколения 1968 г. элементы оптической стопы, кроме пленочных поляризаторов, заклеенных между стекол, собирались на иммерсии. Это облегчило разборку оптической стопы. Было обнаружено, что иммерсия, на которой были собраны кристаллические элементы, могла контактировать с kleевым промежутком пленочных поляризаторов, старых или вновь установленных. Она постепенно проникала по периметру между защитных стекол, вызывала расклейки, помутнение поляризаторов и со временем их выход из строя. Полная разборка оптической стопы для замены поляризаторов привела к необходимости изготовления новых фазовых четвертьволновых пластиинок лайншифтера, так как они были изготовлены не из кварца, а из кристаллической слюды (3, 11, 41, рис. 168). Очень мягкие слюдяные пластиинки не выдерживали «безболезненно» разборку и чистку и нуждались в замене. Выяснилось, что искажения волнового фронта, обнаруженные в фильтре и исправленные ретушированной пластииной при «первом свете», были вызваны деформацией тонких стеклянных пластиинок (2, 12 и 42), установленных снаружи стопы для защиты слюдяных четвертьволновых пластиинок. Эти пластиинки, а также пластиинки из исландского шпата, вышедшие из строя от сильного перегрева филь-

тра из-за поломки терморегулятора, были заменены. Изготовлена новая пластинка 1.6 мм из кристаллического кварца, краевые выколки на которой попали в поле зрения. Попадание дефектов оптической стопы в поле зрения связано с тем, что за долгие годы эксплуатации была нарушена центрировка оптики хромосферного телескопа и фильтр оказался смещенным.

В настоящее время оптическая стопа фильтра стала короче на 20 мм, так как все внутренние склеенные поляризаторы заменены поляроидными пленками, нейтральными к иммерсии, без защитных стекол. Оптическая стопа фильтра очищена от черных точек (пыли), вновь собрана и «прокачана» в иммерсии в вакууме для устранения в поле зрения воздушных пузырей-расклеек. Показатель преломления иммерсии ( $n_d=1.578$ ) близок среднему значению показателей преломления обычного и необычного лучей кристаллов. Эта иммерсия снижает световые потери из-за френелевского отражения на кристаллах, поляризаторах и компенсирует искажения волнового фронта, вносимые неидеальными поверхностями пластинок стопы, которых в фильтре более 100 (рис. 168).

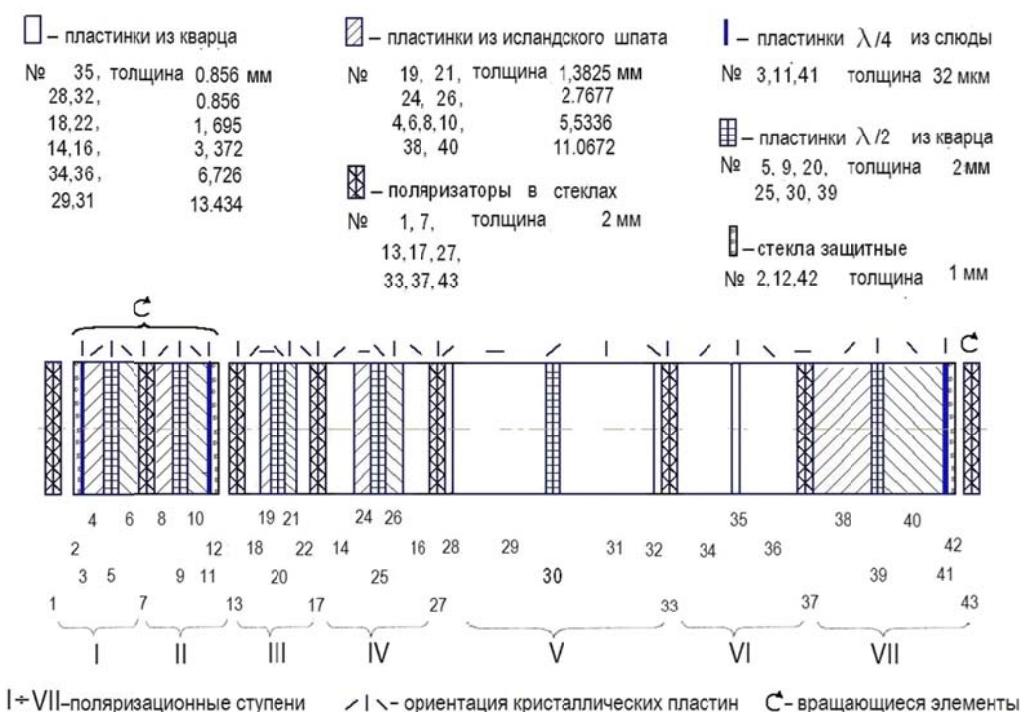


Рис. 168. Оптическая схема кристаллической стопы На-фильтра фирмы Halle

Толщины поляризационных расщепленных элементов не кратны двум, так как они содержат полуволновые и четвертьволновые добавки. Ступени I–VII включают поляризаторы и пластины между ними.

### Методика настройка полосы пропускания ИПФ

Цель настройки – совмещение полосы пропускания регулируемых ступеней между собой с полосой пропускания нерегулируемых ступеней и линией Нα при рабочей температуре. Неточное совмещение полос приводит к уменьшению пропускания и к увеличению паразитных максимумов.

При настройке на спектрографе надо уменьшить роль факторов, влияющих на точность согласования ступеней, таких как поляризация света в спектрографе и линзах осветительной системы. Фланец фильтра с двумя регулируемыми ступенями Contrast и 1 Å следует обратить к осветителю, а фланец со ступенью 0.5 Å с выведенным поляризатором — к щели спектрографа. Начинать настройку надо с совмещения полосы пропускания

ступени 1  $\text{\AA}$  с полосой фильтра вращением короткой втулки при выведенном ее поляризаторе. При этом на щель спектрографа устанавливается деполяризатор, чтобы нейтрализовать модуляцию света от 0.5  $\text{\AA}$  ступени, мешающую настройке. Далее настраиваются на максимум пропускания полоса контрастной ступени и 0.5  $\text{\AA}$  ступени подстройкой их собственных рабочих поляризаторов. Очень полезно вместо рабочих предварительно использовать дополнительные поляризаторы для настройки пропускания этих ступеней не по максимуму, а сначала по минимуму пропускания и симметрии вторичных максимумов, которое фиксируется точнее. Рабочие поляризаторы потом просто устанавливаются в положение погасания с ними. После согласования ступеней корректируется рабочая температура фильтра для точной установки полосы пропускания на линию водорода.

### Контур полосы пропускания ИПФ и предварительного ИФ

Спектральные характеристики ИПФ были получены на лабораторном автоколлимационном спектрографе  $F=6$  м, относительное отверстие 1:30, решетка  $200 \times 300$  мм, 600 штр/мм. Фильтр устанавливался в параллельном пучке, спектры регистрировались ПЗС-линейкой МОРС. На рис. 169 приведены спектры полосы пропускания на расстоянии 0,  $\pm 0.25$ ,  $\pm 0.50$  и  $\pm 0.75$   $\text{\AA}$  от центра линии  $\text{H}\alpha$ . Дальнейшее смещение полосы приводит к значительному увеличению паразитного максимума, так как у фильтра фактически всего две ступени 1 и 0.5  $\text{\AA}$  имеют регулируемую полосу. В пределах смещения  $\pm 0.5$   $\text{\AA}$  паразитные духи малы и полоса имеет высокий контраст.

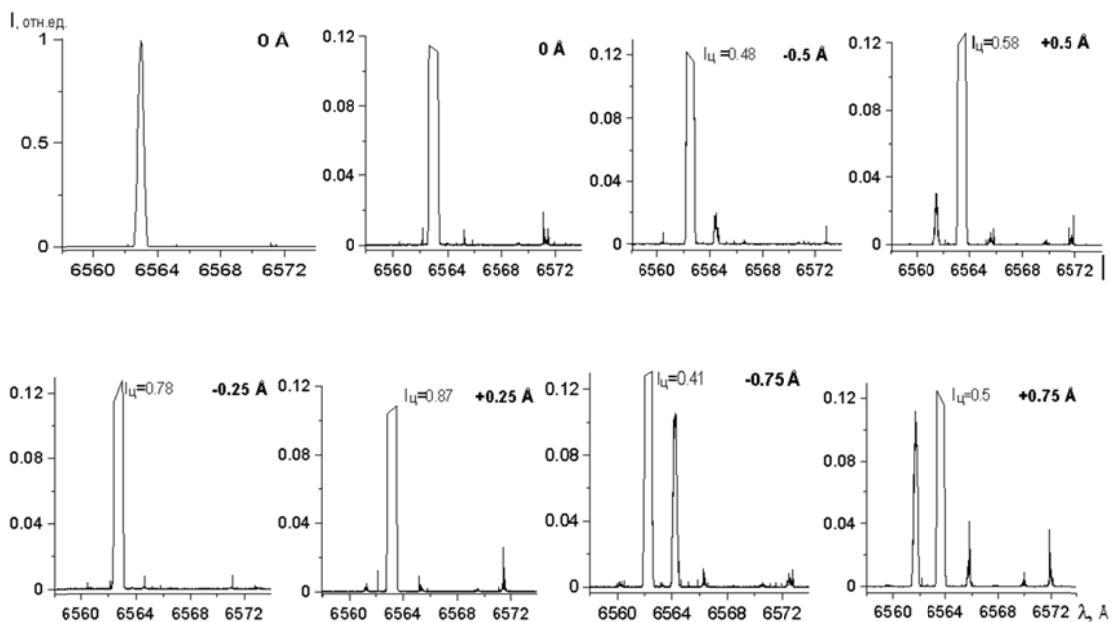


Рис. 169. Полосы пропускания ИПФ для положений 0,  $\pm 0.25$ ,  $\pm 0.5$ ,  $\pm 0.75$   $\text{\AA}$  относительно линии  $\text{H}\alpha$ . Они нормированы относительно полосы в нулевом положении. Контур для нулевого положения и также для всех остальных приведены в увеличенном масштабе, чтобы «вытянуть» паразитные максимумы

До модернизации ИПФ в качестве предварительного был установлен металло-диэлектрический (МДМ) теплофильтр и узкополосный диэлектрический ИФ. Так как область чувствительности ПЗС-камеры простирается дальше 1.1 мкм, к стопе добавлялся цветной стеклянный светофильтр СЗС-25. Вновь изготовленный предварительный фильтр, составленный из двух диэлектрических теплофильтров и узкополосного фильтра, заменил СЗС-25 и сгоревший фильтр. Он отрезает в ИК-области спектра до 1.4 мкм (плотность 2). На рис. 170 показана полоса пропускания фильтра в узком и широком спектральном диапазонах.

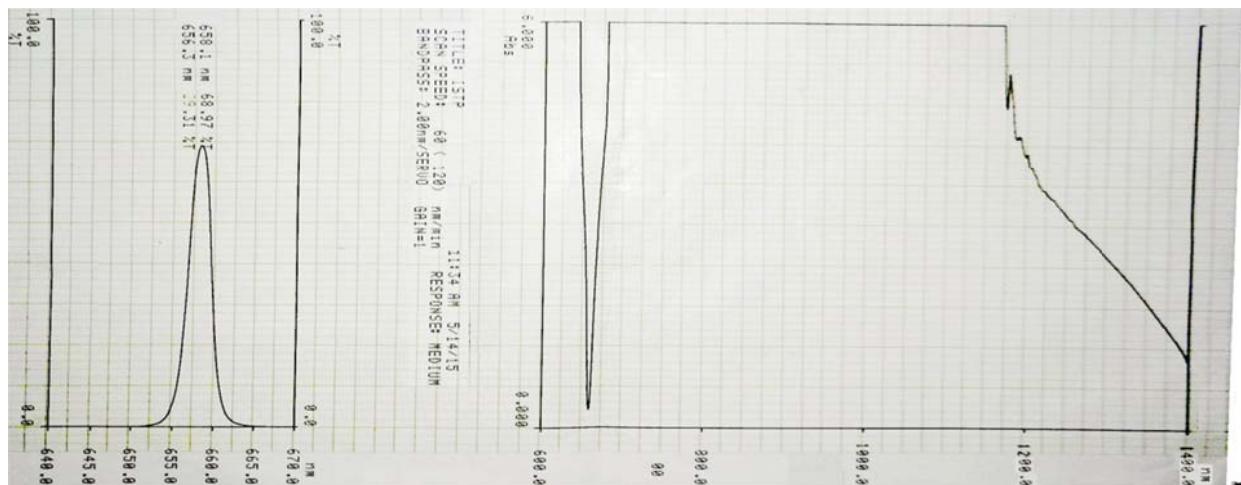


Рис. 170. Полоса пропускания предварительного фильтра. Спектры получены на спектрофотометре Hitachi-3400

При температуре 22 °С фильтр центрируется на  $\lambda$  6581 Å, пропускание 69 %, а в Нα пропускание составляет около 30 %. Этот фильтр с полушириной полосы 30 Å хорошо подавляет паразитные духи ИПФ.

Спектральные характеристики ИПФ и фильтра предварительной монохроматизации обеспечивают высокий контраст монохроматических изображений.

### Разработка стабильных электрооптических модуляторов поляризованного излучения

Электрооптические модуляторы (ЭОМ) являются приборами для управления пространственно-временными параметрами оптического излучения. Электрооптический эффект, возникающий в некоторых типах кристаллов под действием внешнего электрического поля, применяется для модуляции интенсивности и фазы оптического излучения. Такая модуляция находит многочисленные применения в различных типах устройств. На сегодняшний день мы сталкиваемся с проблемой создания надежных устройств модуляции поляризованного излучения, являющихся частью астрофизических приборов для мониторинга магнитных полей на Солнце. Уровень надежности модулятора обусловливается свойствами и качеством оптической обработки электрооптического кристалла, конструкцией прибора в целом и условиями его эксплуатации.

### Обработка пластин водорастворимого кристалла DKDP

Напряжение на электрооптический кристалл (1 на рис. 171) подается через прозрачные токопроводящие покрытия, которые наносятся непосредственно на его поверхности, а не на дополнительные стекла. Такой способ расположения электродов относительно кристалла позволил повысить точность измерения поляризационных характеристик и расширить диапазон рабочих частот модулятора. В то же время возросли требования к качеству поверхности электрооптического кристалла, так как нанесение покрытия может ухудшить чистоту детали на несколько классов.

Одна из целей работы заключалась в выявлении метода, материала полирования и типа полировальника, обеспечивающих необходимые параметры (шероховатость, геометрия) поверхности кристалла и отработку технологического процесса изготовления пластин DKDP.

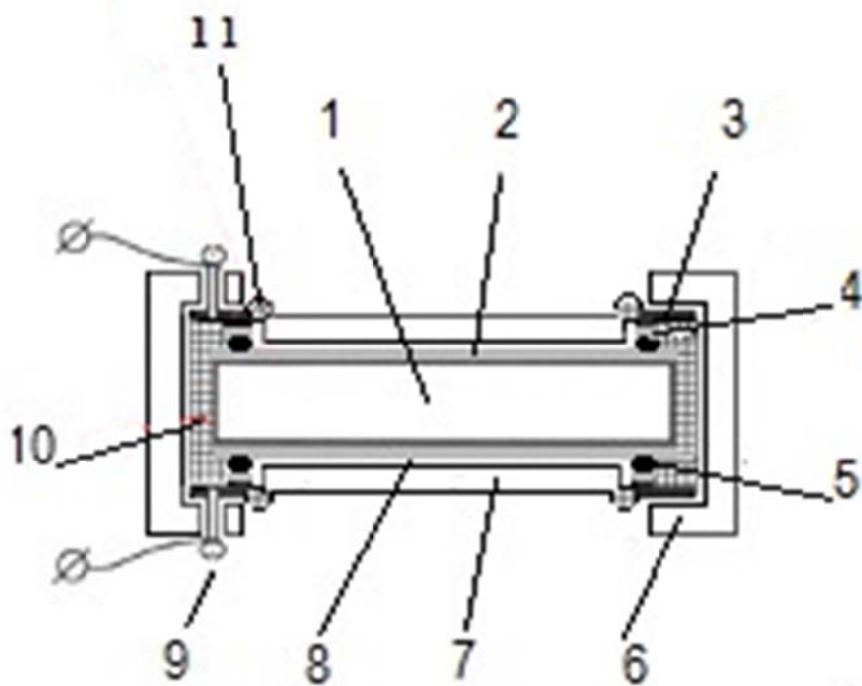


Рис. 171. Схематическое изображение электрооптического модулятора в оправе: 1 — электрооптический кристалл; 2 — прозрачное токопроводящее покрытие на кристалле; 3 — контактные кольца; 4 — токопроводящее покрытие на контактных кольцах; 5 — кольцевые прокладки из индия; 6 — оправа модулятора; 7 — оптические окна; 8 — капиллярный слой иммерсии; 9 — клеммы для подключения управляющего сигнала; 10 — слой защитного клея-герметика; 11 — герметик, закрывающий капиллярный слой иммерсии в зазоре между контактным кольцом и защитным стеклом

Кристалл DKDP является оптически одноосным и гигроскопичным. При влажности воздуха около 93 % кристалл начинает поглощать влагу и растворяться. Гигроскопичность и хрупкость кристалла необходимо учитывать при его обработке и при конструировании прибора, предназначенного для работы в нормальных и отличных от нормальных атмосферных условиях.

Обрабатывались пластины кристалла DKDP, вырезанные перпендикулярно оптической оси, диаметром 30 и толщиной 2 мм. В процессе обработки DKDP были проведены механическое (МП) и химико-механическое полирование (ХМП) с применением смоляных, а также ранее не применяемых синтетических полировальников (табл. 17).

Из-за гигроскопичности и хрупкости кристалла DKDP стандартные процессы полирования оптического стекла не могут быть применены для борьбы. Поэтому для ХМП использовалась обратная эмульсия по типу «вода в масле», состоящая из следующих компонентов: додеканол, Тритон X-100, дистиллированная вода. МП осуществлялось на смоляных полировальниках с применением суспензии, дисперсионной фазой которой являлся алмазный синтетический порошок (АСМ-1/0, овальный), а дисперсионной средой — ДПМЗ (Деполимеризат Д-4, или октаметилциклотрасилоксан) — маслянистая бесцветная жидкость без механических примесей (производство ООО «Пента-91»).

Кристаллы обрабатывались на станках СД-3 для индивидуальной обработки. В процессе полирования нерабочая поверхность детали покрывалась акриловым клеем для защиты от механических повреждений и влаги.

В зависимости от рабочей температуры в лаборатории (22–24 °С) для МП применялись полировочные смолы различной твердости: СП-10 и СП-13 (без канифоли).

Анализ плоскостности осуществлялся на интерферометре. Технологический контроль в процессе полирования осуществлялся с помощью микроскопа МБС-2.

Таблица 17. Типы полировальников и их характеристики

№ п/п	Материал полиро- вальника	Фирма- производитель	Характеристика полировальника
1	ChemoMet™	Buehler, Германия	Синтетическая самоклеящаяся ткань для окончательной полировки – мягкая, пористая, химически стойкая
2	MicroCloth™	Buehler, Германия	Синтетическая самоклеящаяся ткань для окончательной полировки – длинноворсовый искусственный шелк, мягкий, эксплуатационно гибкий
3	TriDent™	Buehler, Германия	Синтетическая самоклеящаяся ткань для предварительной полировки – мягкая, прочная, неворсовая
4	СП-10	НПП «Фокус», Санкт-Петербург	Смола полировочная № 10
5	СП-13	НПП «Фокус», Санкт-Петербург	Смола полировочная № 13 (без канифоли)

В табл. 18 приведены краткие характеристики поверхностей обработанных пластин DKDP (в скобках указано процентное содержание воды в обратной эмульсии — 12, 16, 20 % при постоянной концентрации Тритон X-100, равной 28 %). Время полирования во всех случаях составляло 5–20 мин.

Таблица 18. Результаты ХМП и МП на различных полировальниках

Материал полировальника	Метод полирования			
	XМП	МП		
	A (12 %) B (16 %) C (20 %)	ДПМЗ/АСМ 1/0		
ChemoMet™	Травления нет; ласины	Травления нет; количество ласин увеличилось	Травления нет; чистота без улуч- шений	–
MicroCloth™	Травления нет; ласины	Травления нет; количество ласин увеличилось	Частичное травле- ние; Чистота без улучшений	–
TriDent™	Травления нет; незначительное количество ласин	–	–	Травления нет; незначительное количество ласин; полировальник плохо формирует обрабатываемую поверхность
СП	–	–	–	Травления нет; полировальник хорошо форми- рует поверхность кристалла; ласины

Результаты ХМП показали, что при использовании синтетических полировальников в сочетании с обратной эмульсией додеканол–ТритонХ-100–вода, происходит травление поверхности пластин и не обеспечиваются необходимые параметры чистоты и шероховатости. В результате МП при помощи супензии ДПМЗ/АСМ-1/0 на синтетическом полировальнике марки TriDent™ и на смоляном полировальнике в соответствии с техническим заданием была получена поверхность с отклонением от плоскости, равным 1 кольцу; местная ошибка не превышала 0.5 интерференционного кольца на диаметре 30 мм. При этом на синтетическом полировальнике TriDent™ выполнялась только предварительная полировка, так как он плохо формирует поверхность детали, но характеризуется высокой скоростью съема. На смоляном полировальнике осуществлялась финишная полировка.

Шероховатость рельефа поверхности готовой детали измерялась с помощью сканирующего зондового микроскопа «Смена» на 3–5 участках образцов. Размер скана составлял  $5 \times 5$  мкм. Поверхность кристалла DKDP после финишного полирования на смоляном полировальнике супензией ДПМЗ/АСМ-1/0 представлена на рис. 172, а. Шероховатость составила 5–20 нм (рис. 172, б).

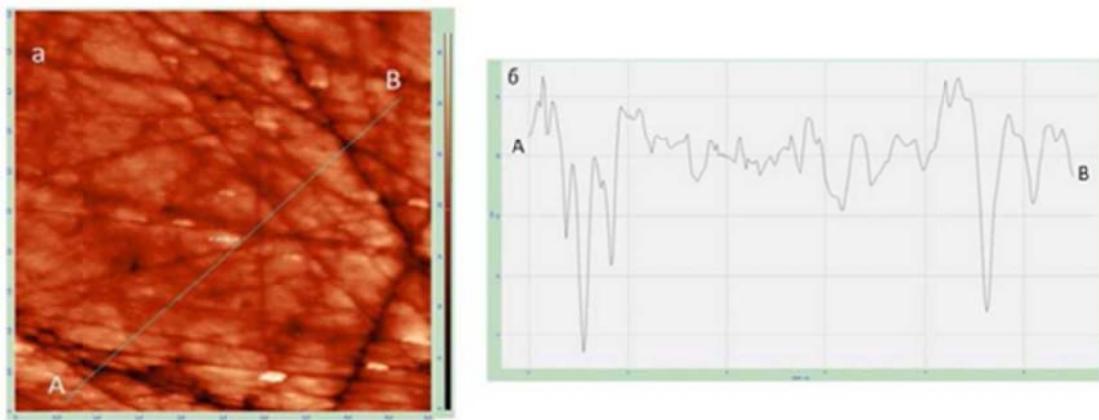


Рис. 172. АСМ-изображение (а); сечение рельефа поверхности кристалла DKDP после МП (б)

### Герметизация устройства

Основная задача герметизации заключается в продлении срока службы модулятора.

В процессе эксплуатации электрооптического модулятора была выявлена деформация токопроводящего покрытия – оно напоминало мелкоячеистую сетку. В большинстве случаев подобная деформация наблюдалась около кольцевых электродов, которые закрепляются на поверхности кристалла при помощи индивидуальных колец, и далее распространялась к центральной части светового окна.

Основным фактором, оказывающим влияние на долговечность покрытия, является адгезия. Нарушение адгезии может происходить по ряду причин. Во-первых, это обратный пьезоэффект. Поскольку электрооптическим эффектом обладают только пьезокристаллы, кристалл DKDP при наложении электрического поля меняет свои линейные размеры. Вместе с ним деформируется и токопроводящее покрытие, что со временем приводит к его разрушению. Также деформация может происходить вследствие одновременного воздействия на пленку обратного пьезоэффекта и разного рода напряжений, возникающих в ней. Следующими причинами, нарушающими адгезию, могут быть влага в иммерсии и наличие примесей в сформированной пленке.

Для ограничения влияния влаги на работоспособность прибора было предпринято следующее.

После того, как защитные стекла были соединены с кристаллом капиллярным слоем иммерсии, модулятор помещался в емкость с иммерсией и «прокачивался» в вакууме в течение 60–120 мин. Затем паз (8 на рис. 171) между защитным стеклом и контактным

кольцом, так же как и торец кристалла, был заполнен kleем-герметиком 11. И модулятор повторно «прокачивался» в вакууме 20–30 мин для заполнения паза герметиком, его обезвоживания и дальнейшей полимеризации.

Мы надеемся, что сушка иммерсии в вакууме позволит минимизировать влияние влаги, растворенной в ней, на прочность адгезии между кристаллом и токопроводящим покрытием и на сам водорастворимый кристалл. А заполнение паза и торца кристалла герметиком будет препятствовать проникновению влаги извне.

## Характеристики ЭОМ

Измерение полуволнового, или модулирующего, напряжения  $U_{y2}$  происходило в длине волны 632.8 нм по стандартной схеме со скрещенными поляризаторами. Значения полуволнового напряжения у модуляторов могут несколько различаться в силу конструктивных особенностей.  $U_{y2}$  у опытного образца нового модулятора составило 3.11 кВ при температуре окружающей среды 19 °С.

При измерении быстродействия получили следующие времена переключений: 0 —  $\lambda/2$  — 200 мкс,  $\lambda/2$  — 0–150 мкс. Спад напряжения со временем, который обычно наблюдается на низких частотах (~1 Гц), у исследуемого образца не обнаружен (рис. 173).

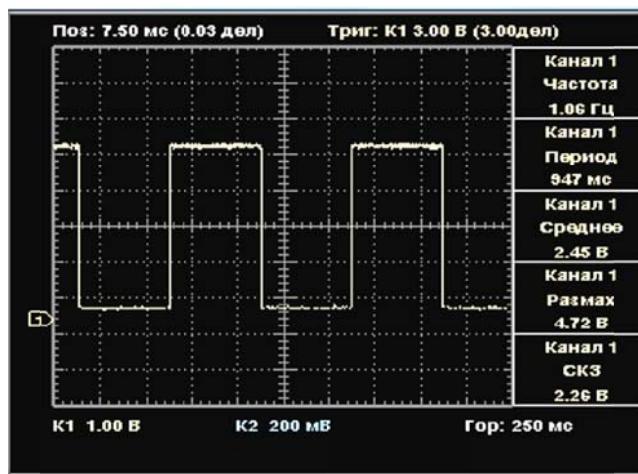


Рис. 173. Оциллограмма ZET302 сигнала модулятора нового типа на частоте переключения 1.06 Гц

## Развитие технологии получения многослойных покрытий интерференционных фильтров с малым рассеянием и поглощением

Метод нанесения оптических покрытий из окислов металлов ионным распылением металлов с окислением до высших окислов асистированием источником ионов кислорода, как показал предыдущий опыт, позволяет получить оптические пленки, имеющие большие преимущества перед традиционной технологией.

Процесс нанесения пленок сильно зависит от источника ионного асистирования, который должен обладать стабильным режимом работы в течение всего процесса нанесения оптического покрытия. От стабильности его работы зависят как световые потери в пленках (пленки должны содержать только высшие окислы металлов), так и равномерность по толщине пленок.

Время нанесения четвертьволнового слоя окислов металлов ( $\text{Nb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и др.) находится в пределах 8–15 мин. Число слоев ИФ может достигать 40–50 и более, в зависимости от необходимой полуширины фильтра и его контрастности. Таким образом, весь цикл нанесения фильтра может длиться более 10 ч. За это время параметры работы ионного источника асистирования, такие как ионный ток и энергия ионов, должны оставаться постоянными. Ранее разработанный источник, построенный по диодной схеме, не обеспе-

чивае длительной стабильности энергии ионов. Это объясняется частичным осаждением на аноде источника окисных пленок, что приводит к повышению напряжения разряда при заданном ионном токе. Повышение потенциала разряда приводит к увеличению энергии ионов вплоть до величины, при которой начинается распыление осаждаемого слоя. Как следствие, снижается скорость роста пленки в 1.5–2 раза. Попытка устранить это явление конфигурацией анода (рис. 174) не привела к желаемому результату.

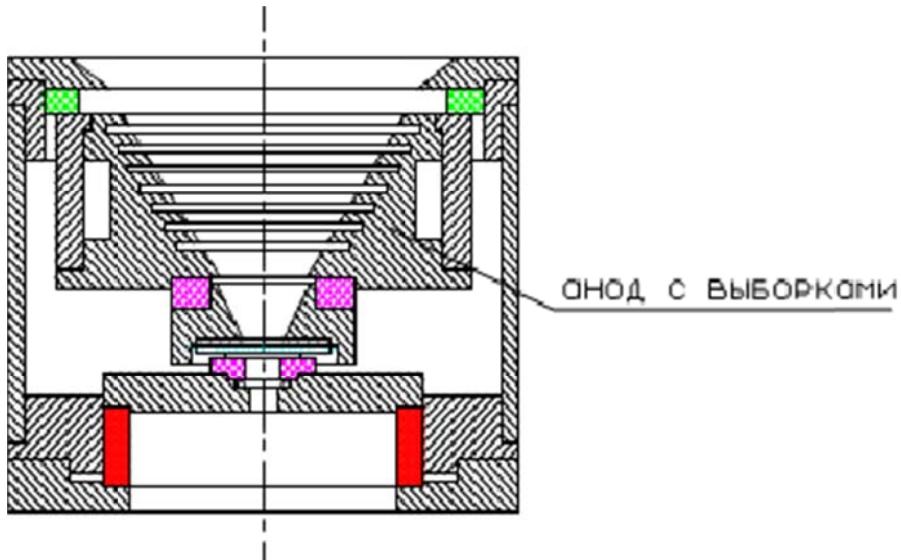


Рис. 174. Ионный источник с выборками в аноде

Решением проблемы является разделение функциональных областей ионного источника на две, одна из которых создает ионизацию рабочего газа, а другая сообщает ионам необходимую энергию. Схематическое устройство такого ионного источника показано на рис. 175.

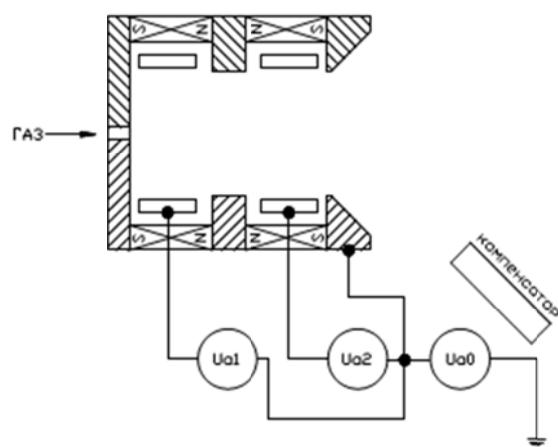


Рис. 175. Схема устройства ионного источника с переменным анодом

Внутри общего анода, находящегося под постоянным положительным относительно корпуса потенциалом  $U_{a0}$ , помещаются два вспомогательных анода. На каждый из них подаются прямоугольные импульсы  $U_{a1}$  и  $U_{a2}$  положительной полярности относительно общего анода. Импульсы сдвинуты по фазе на  $180^\circ$ . Амплитуда импульсов частотой 50 кГц регулируется в пределах до 800 В. Использование высокочастотного разряда позволяет избавиться от влияния диэлектрических слоев на электродах. Кроме того, электроды создающие разряд, находятся в глубине источника, что уменьшает возможность осаждения пленок окислов. Таким образом, вспомогательные аноды поддерживают разряд в газе, а потенциал  $U_{a0}$  вытягивает и ускоряет ионы, образовавшиеся в зоне разряда. Магнитное

поле, создаваемое постоянными магнитами Nd–Fe–B, позволяет поддерживать разряд в газе при низких давлениях в источнике. Величина ионного тока регулируется потенциалами  $U_{a1}$  и  $U_{a2}$ , а энергия ионов – потенциалом  $U_{a0}$ , что позволяет независимо регулировать как ионный ток, так и энергию ионов. Компенсатор (источник электронов с полым катодом) нейтрализует объемный заряд в потоке ионов.

Был разработан и изготовлен ионный источник, основанный на этом принципе. Сборочный чертеж представлен на рис. 176.

Внутренние аноды 13 закреплены на трех керамических изоляторах 3 каждый. Токовводы 16, изолированные керамической трубкой 17 и фторопластовой втулкой 15, крепятся на корпусе 8 с помощью фланца 14 (крепежные винты не показаны). Магнитная система источника состоит из набора постоянных магнитов Nd–Fe–B, размером  $5 \times 5 \times 5$  мм, и магнитопроводов 18, 6, 7, 9. Средний магнитопровод, состоящий из двух деталей 6, 9, соединенных вакуумплотной пайкой, охлаждается проточной водой. Прикрепленные к нему экраны 4 защищают магниты от радиационного нагрева со стороны внутренних анодов. В нижний магнитопровод вмонтирован газораспределитель 19. Уплотнение из силиконовой резины 11 герметизирует подачу газа в газораспределитель. Фторопластовая проставка 10 центрирует источник в корпусе 8. Алюминиевая вставка 20 защищает стальной магнитопровод 18 от распыления.

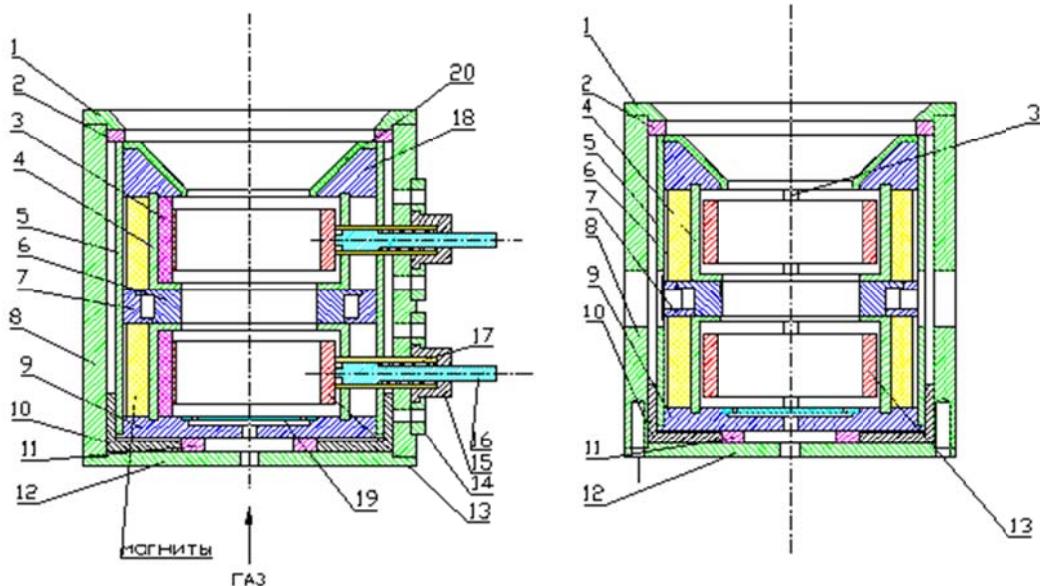


Рис. 176. Конструкция ионного источника с переменным анодом

В настоящее время источник изготовлен. Генератор прямоугольных импульсов с частотой 50 кГц, питающий внутренние аноды, находится в стадии разработки.

### Публикации

1. Скоморовский В.И., Кушталь Г.И. и др. Коммерческие узкополосные солнечные фильтры Фабри–Перо, методы и приборы для их исследований // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, №. 3. С. 72–90. DOI: 10.12737/10537.
2. Лоптева Л.С. Фазовые пластинки из полимерных материалов для поляризационных измерений // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Труды. Иркутск, 14–18 сентября 2015 г. С. 45–47.
3. Цаюкова А.Г. Электрооптические модуляторы поляризованного излучения // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Труды. Иркутск, 14–18 сентября 2015 г. С. 78–82.

## Разработка и создание приборов для исследования солнечных магнитных полей на основе новых технологий в оптоэлектронике и вычислительной технике.

### Разработка автоматизированной системы управления БСВТ

В 2015 г. был проведен этап работ по изготовлению и монтажу оборудования автоматизированной системы управления (АСУ) для контроля вакуума в трубе Большого солнечного вакуумного телескопа Байкальской астрофизической обсерватории. Работы выполнялись совместно с ИАиЭ СО РАН.

В БСВТ исключение влияния воздушных потоков внутри телескопа на качество изображения осуществляется изолированием оптического пути с помощью вакуумной трубы. Вакуумирование трубы выполняется специальной системой, функционирование которой было автоматизировано с модернизацией основных компонентов системы: вакуумного насоса с системой охлаждения, вакуумного затвора и контрольно-измерительной аппаратуры (рис. 177). Вакуумирование представляет собой сложный процесс, во время которого необходимо контролировать большое количество параметров (температура охлаждающей жидкости, давление воздуха в различных участках системы, работоспособность всех компонентов). Автоматизация системы освобождает наблюдателя от непосредственного участия в снятии показаний контрольных измерений и управления конечными устройствами в подвальном помещении, где расположено вакуумное оборудование. Для получения и поддержания необходимого уровня вакуума в труbe наблюдателю достаточно задать соответствующий режим работы АСУ, остальные действия выполняются автоматически системой. Таким образом, общее время, которое необходимо потратить наблюдателю на подготовку телескопа к эксперименту, сокращается более чем на 40 мин, а влияние человеческого фактора на результат работы системы сводится к минимуму.

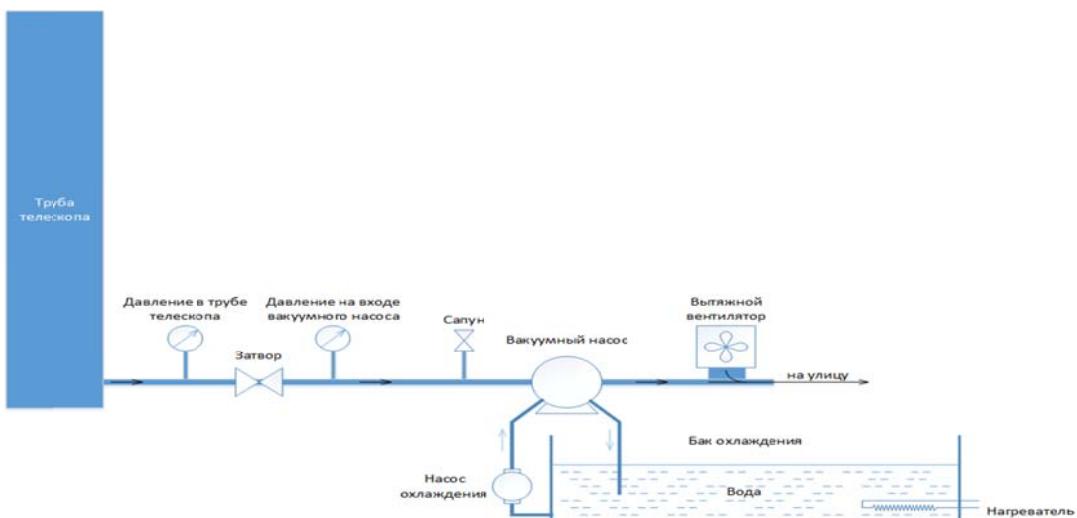


Рис. 177. Блок-схема подсистемы вакуумирования трубы телескопа БСВТ

При автоматизации системы решалась задача обеспечения сохранности оборудования телескопа в случае внештатных ситуаций, возникающих, например, при отключении электроэнергии. В этом случае требуется не допустить обратного потока воздуха в системе, ведущего к заполнению вакуумной трубы телескопа смесью масляных паров из системы смазки насоса. Для решения этой задачи в системе был установлен новый компонент: вакуумный затвор с пневматическим приводом (рис. 178). Управление затвором происходит с помощью электропневматического клапана (рис. 179), который при отсутствии питания подает воздух на закрытие затвора. Сжатый воздух к клапану поступает от компрессора с резервуаром объемом 24 литра (рис. 180). В резервуаре постоянно поддерживается давление 6–8 атм. Для срабатывания затвора достаточно давления 0.6 атм. За счет избыточного давления поддерживается достаточный запас воздуха для аварийного закрытия затвора.

Электронные компоненты системы, включая коммутационные цепи, индикаторы, а также тумблеры для управления в ручном режиме, размещены в специальном шкафу (ШВ — шкаф вакуумный, рис. 181). Все компоненты подсистемы рассчитаны на работу в неотапливаемом помещении, в отдельных случаях для обеспечения работы подсистем используются нагревательные элементы. Температурный режим работы вакуумного насоса (рис. 182), откачивающего воздух из трубы телескопа, обеспечивается автоматикой системы охлаждения. В процессе управления вовлечены следующие устройства: насос охлаждения обеспечивает циркуляцию воды в системе охлаждения; бак охлаждения является тепловым аккумулятором, предназначенным для прогрева насоса перед запуском и отвода тепла во время работы; в бак встроен нагреватель с автоматическим регулятором для поддержания оптимальной температуры воды.



Рис. 178. Вакуумный затвор, блокирующий воздушный поток во время внештатных ситуаций



Рис. 179. Электропневматический клапан, управляющий работой вакуумного затвора



Рис. 180. Компрессор подсистемы аварийного закрытия затвора



Рис. 181. Шкаф с управляющей электроникой системы вакуумирования трубы телескопа



Рис. 182. Вакуумный насос БСВТ, встроенный в новую систему управления

Аппаратная часть подсистемы вакуумирования была интегрирована в АСУ БСВТ, разработанную на предыдущем этапе работ. Для конечных исполнительных устройств были созданы программные модули, соответствующие архитектуре программного обеспечения АСУ и обеспечивающие выполнение функций низкоуровневого управления. Группы функций на программном уровне объединены в подсистемы с унифицированным интерфейсом. По существу работа системы вакуумирования может быть рассмотрена как технологический процесс, состоящий в свою очередь из ряда более элементарных процессов. Решение такого типа задач удобно представлять как взаимосвязь отдельных процессов, понятных как оператору системы, так и инженерам, обеспечивающим ее эксплуатацию. Таким образом, для реализации алгоритма вакуумирования был использован специализированный процесс-ориентированный язык Рефлекс, разработанный в ИАиЭ СО РАН. Получение подпрограмм, совместимых с ПО АСУ, стало возможным благодаря модификации транслятора языка. В результате подсистема вакуумирования трубы может использовать общие для всей АСУ сервисы (журналирование, удаленный интерфейс управления, система сообщений между подсистемами и др.), а также наследует главное свойство архитектуры — полное разделение алгоритмов управления подсистемы как целого от алгоритмов управления исполнительных устройств. Последнее позволяет в случае модернизации или ремонта в оперативном режиме производить замену привода или датчика другими аналогичными без вмешательства в отлаженные алгоритмы, обеспечивающие выполнение технологического процесса вакуумирования.

Управление системой может производиться в двух режимах: оператора и инженера. В режиме оператора графический интерфейс предоставляет только основные функции управления для наведения телескопа на участок Солнца. Управление подсистемой вакуумирования сводится к ее включению или выключению. Для контроля состояния системы в целом предназначены индикаторы «статус» и «авария» (рис. 183). Состояние отдельных устройств подсистемы также возможно отследить по индикаторам, панель которых можно скрыть или отобразить при необходимости (рис. 183). Инженерный режим предназначен для проведения наладочных работ и позволяет управлять отдельными устройствами телескопа как в графическом, так и текстовом режиме, а также предоставляет расширенный набор значений параметров телескопа. Последнее позволяет полностью отслеживать процесс управления и диагностировать состояние отдельных устройств, что в итоге обеспечивает непрерывное использование телескопа по назначению.

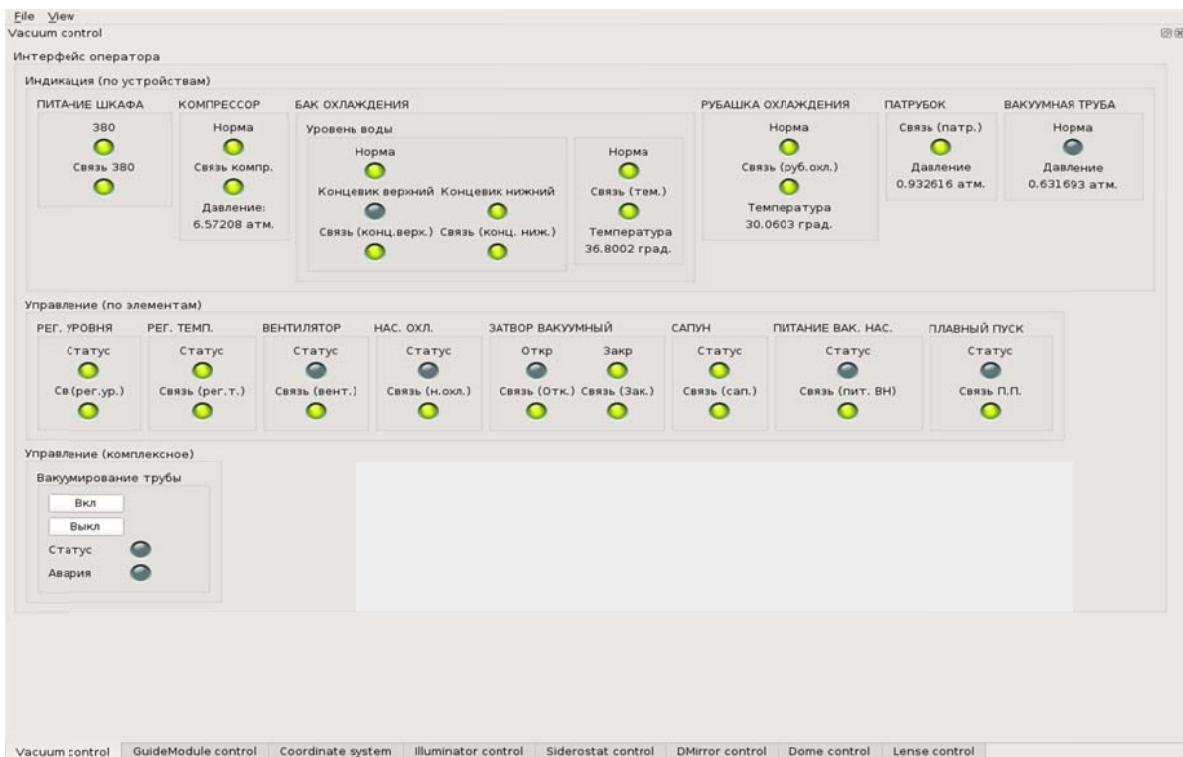


Рис. 183. Графический интерфейс пользователя для управления подсистемой вакуумирования трубы телескопа

### Публикация

Лубков А.А., Ковадло П.Г., Бевзов А.Н., Будников К.И., Власов С.В., Зотов А.А., Колобов Д.Ю., Курочкин А.В., Котов В.Н., Лылов С.А., Лях Т.В., Максимов А.С. Пере-бейнос С.В., Петухов А.Д., Пещеров В.С., Попов Ю.А., Русских И.В., Томин В.Е. Система автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Автометрия. № 2. 2016.

### Создание многоволнового радиогелиографа на основе модернизации ССРТ и увеличение функциональных возможностей спектрополяриметров полного потока

### Калибровка многоволнового радиогелиографа по наблюдениям геостационарных спутников, Луны

Отклик антенн многоволнового радиогелиографа на излучение спутников используется для калибровки приема круговых поляризаций. При монтаже оборудования на антенных и при прокладке кабелей управляющих сигналов возможны ошибки, приводящие к тому, что сигналы круговых поляризаций будут приниматься различными антеннами в

различное время. Это означает, что будет потеряна не только информация о поляризации, но и взаимная корреляция сигналов от различных антенн, так как солнечное радиоизлучение практически не содержит составляющей с линейной поляризацией. Прием сигналов от спутников с заданной поляризацией позволяет устранить ошибки монтажа. Измерения показали, что около 10 % антенн были смонтированы с ошибками. Ошибки исправлены.

Обычно калибровка антенн радиогелиографа производится по результатам откликов на прохождение Солнца через диаграммы направленности (ДН) одиночных антенн. Это связано с тем, что отклик от Луны слишком слаб для определения ошибок наведения. Для получения откликов системе управления антеннами ССРТ передаются следующие наборы команд: отвести выбранные антенны по часовому углу (склонению) на  $3^\circ$  вперед (вверх), отвести выбранные антенны по часовому углу (склонению) на  $6^\circ$  назад (вниз), отвести выбранные антенны по часовому углу (склонению) на  $3^\circ$  вперед (вверх). Результаты, получаемые таким образом, показаны на рис. 184. Ошибки в наведении вычисляются как параметры аппроксимации откликов функциями Гаусса. Наведение может отличаться не только для разных антенн, но и для различных поляризаций одной антенны. Причины этого могут быть разными. Например, сечения двумерных ДН в различных поляризациях могут представлять собой эллипсы, слегка развернутые относительно друг друга. В этом случае ошибка в наведении по склонению будет приводить к различным смещениям ДН по часовому углу и наоборот. Еще одной причиной смещений может быть неточность изготовления облучателя.

Процедура коррекции наведения сводится к следующему. Диагностика проводится дважды в день. По результатам первой диагностики принимается решение о коррекции или проведение дополнительных диагностических или ремонтных работ. Во время второй диагностики проверяется результат коррекции и/или появление новых отклонений. Если коррекция была проведена успешно, то поправки в наведении заносятся в базу данных, так называемых нуль-пунктов — постоянных поправок к угловому положению ОПУ.

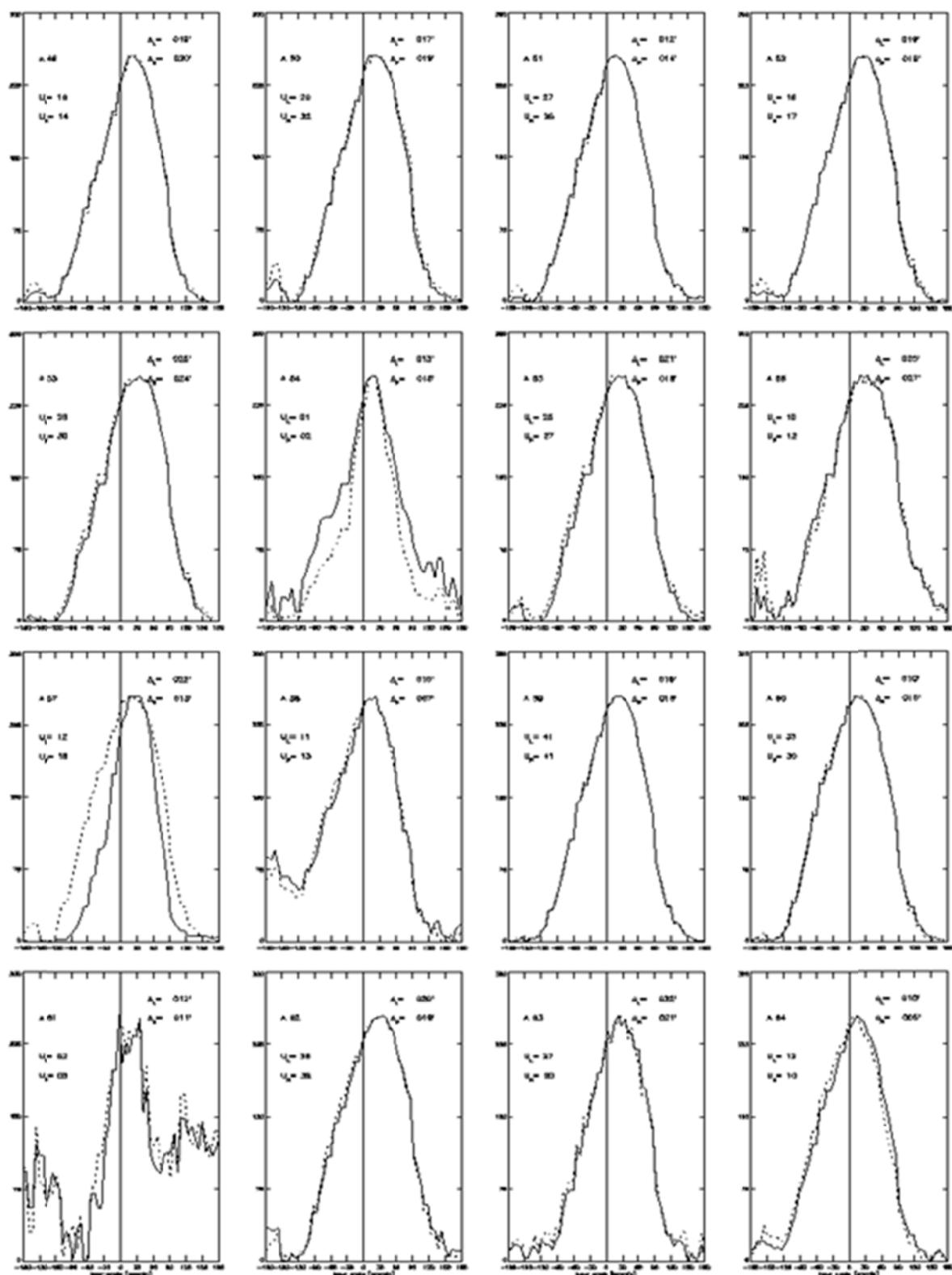


Рис. 184. Отклики одиночных антенн на прохождение Солнца через ДН, используемые для калибровки. Сплошной и штриховой линиями показаны отклики в различных поляризациях. От антennы 54 уровень сигнала очень мал, у антennы 57 отклики в различных поляризациях смешены, от антennы 61 нет сигнала. Есть общее смещение ДН вперед по часовому углу

## Разработка методики реконструкции изображений, получаемых многоволновым радиогелиографом

Реконструкция изображений – одна из традиционных задач радиоастрономии. Данные, регистрируемые приемной аппаратурой многоволнового радиогелиографа, представляют собой набор комплексных видностей. Методика реконструкции представляет собой отбор видностей, калибровку и фурье-преобразование калиброванного набора. Следующая за фурье-преобразованием чистка изображений не рассматривается в данной методике.

Отбор видностей производится по превышению порога среднеквадратичным отклонением видности на выбранном интервале. Причина того, что видности нужно отбраковывать, состоит в том, что цифровые шумы, которые возникают в некоторых каналах передачи данных от цифровых приемников в корреляторы, делают невозможным использование данной видности. Даже потеря информации, связанная с исключением видности из анализа, предпочтительнее искажений, вносимых цифровыми шумами. Порог определяется эмпирически по визуальной оценке изображения.

После отбраковки видностей производится калибровка фаз и амплитуд коэффициентов передачи антенн. Для этого решается системы линейных уравнений, содержащих видности для всех одинаковых антенных баз радиогелиографа. Конфигурация 48-антенной решетки выбрана избыточной: 31 база в направлении Восток–Запад и 15 баз в направлении Север–Юг одинаковы. Системы уравнений определяются матрицами вида:

$$A_{\phi} = \begin{matrix} 1 & 1 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & -1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & -1 \end{matrix}$$

для фаз коэффициентов передачи и матрицами вида:

$$A_g = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 1 \end{matrix}$$

для логарифмов амплитуд коэффициентов передачи.

Решение систем линейных уравнений осуществляется функцией IMSL\_QRSOL языка IDL. Найденные модули и фазы коэффициентов передачи используются для коррекции измеренных комплексных видностей. Затем собирается эрмитова матрица видностей, помещенная в массив, заполненный нулями там, где нет измеренных видностей. Фурье-преобразование такого массива дает искомые изображения.

Для 96-антенной решетки радиогелиографа количество видностей, которые возможно использовать для калибровки, равно 2512. На рис. 185 показаны распределения этих видностей для линеек Восток–Запад (+) и Юг (\*). Этот рисунок показывает меру избыточности антенной конфигурации радиогелиографа.

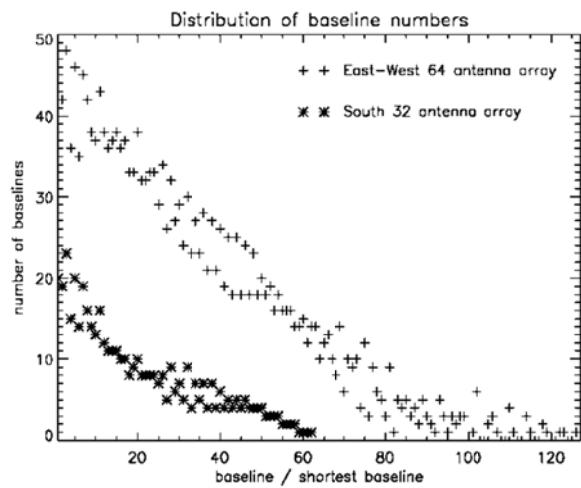


Рис. 185. Распределение избыточных баз 96-антеннного радиогелиографа. Общее число уравнений, которые могут быть составлены с использованием этих баз, равно 2152

Рисунки 186–188 показывают остановку бегущей интерференционной картины на выходе коррелятора радиогелиографа, а рис. 189 показывает изображение Солнца, полученное в момент времени, когда интерференционные лепестки не были остановлены.

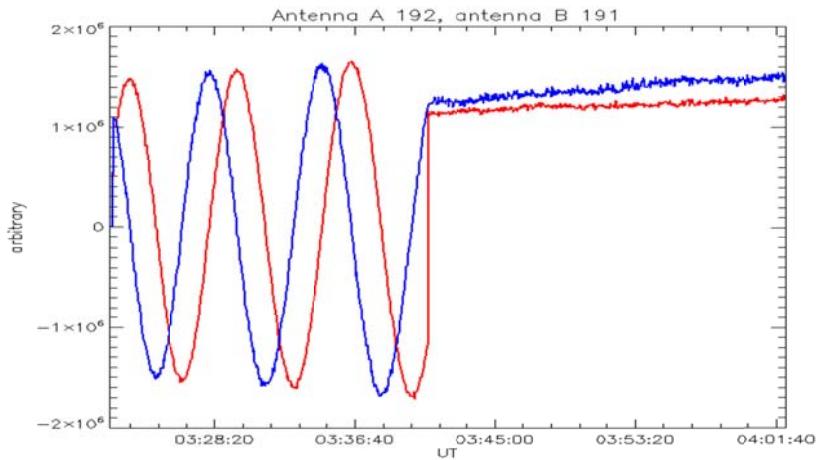


Рис. 186. Остановка бегущих интерференционных лепестков для пары антенн линейки Юг

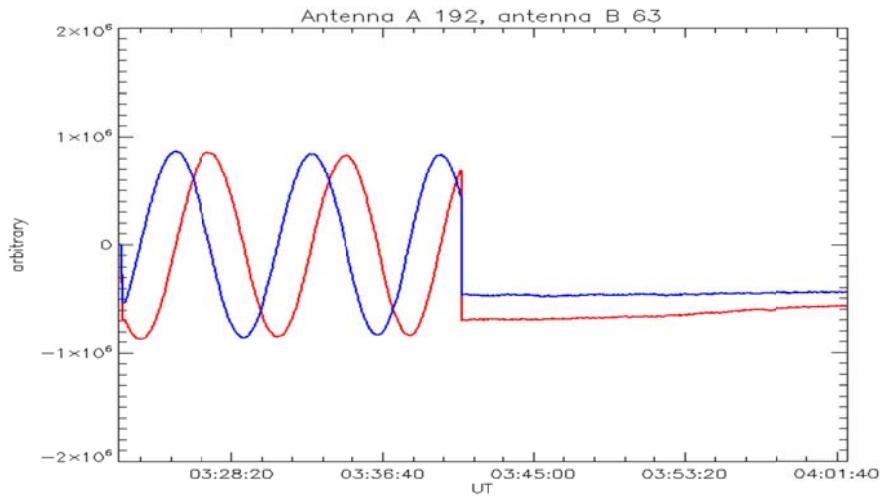


Рис. 187. Остановка бегущих интерференционных лепестков для пары антенн, принадлежащих линейкам Восток–Запад и Юг

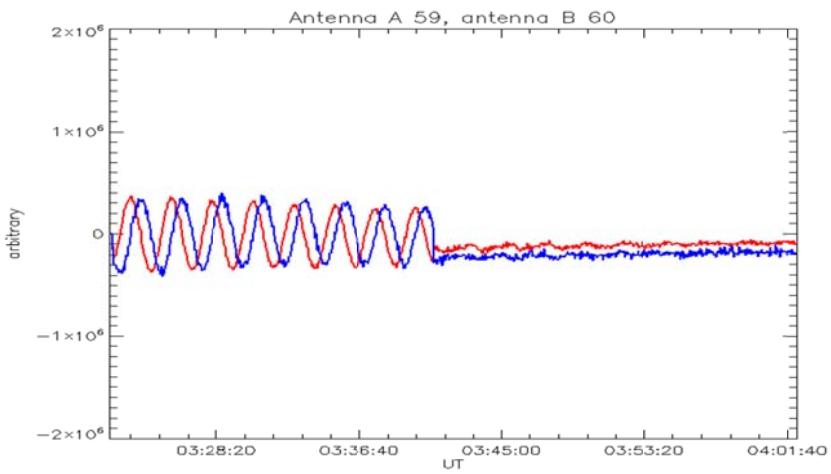


Рис. 188. Остановка бегущих интерференционных лепестков для пары антенн линейки Восток–Запад

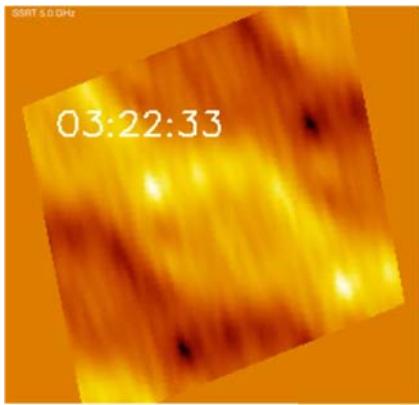


Рис. 189. Изображение Солнца на частоте 5 ГГц

#### Продолжение многолетнего ряда наблюдений на ССРТ и спектрополяриметрах 2–24, 4–8 ГГц с обеспечением открытого доступа к данным

В 2015 г. был продолжен многолетний ряд наблюдений на ССРТ и спектрополяриметрах полного потока. Данные публикуются на сайте обсерватории <http://badary.iszf.irk.ru>. Пример просмотра данных на указанную дату показан на рис. 190.

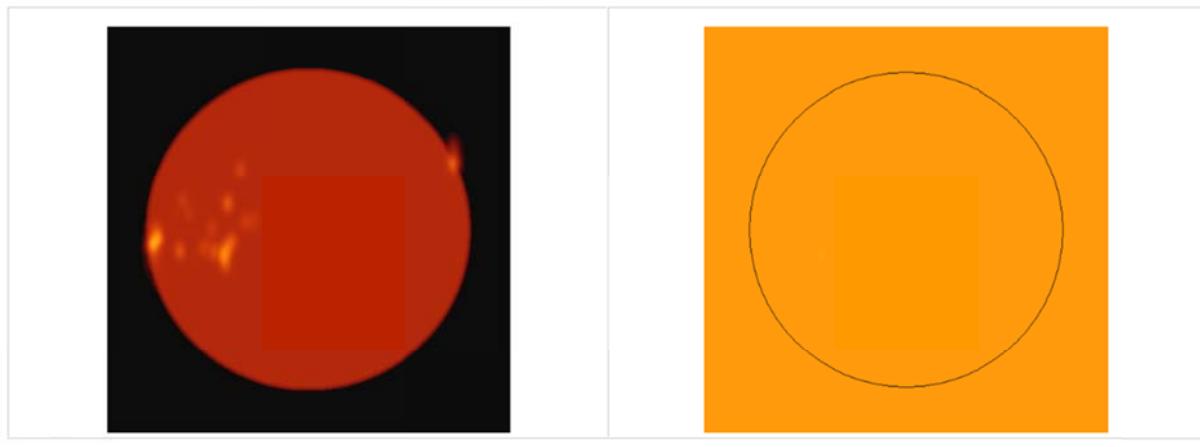


Рис. 190. Пример данных ССРТ, доступ к которым осуществляется по выбранной дате

В течение 2015 г. была проделана работа по расширению данных на период до 1999 г. Теперь благодаря обработке данных первых двумерных наблюдений на ССРТ доступны изображения, полученные в 1997–1998 гг.

Данные спектрополяриметров также доступны на сайте обсерватории. На рис. 191 показаны данные спектрополяриметра 2–24 ГГц за 21 июня 2015 г., когда наблюдался мощный всплеск микроволнового излучения Солнца.

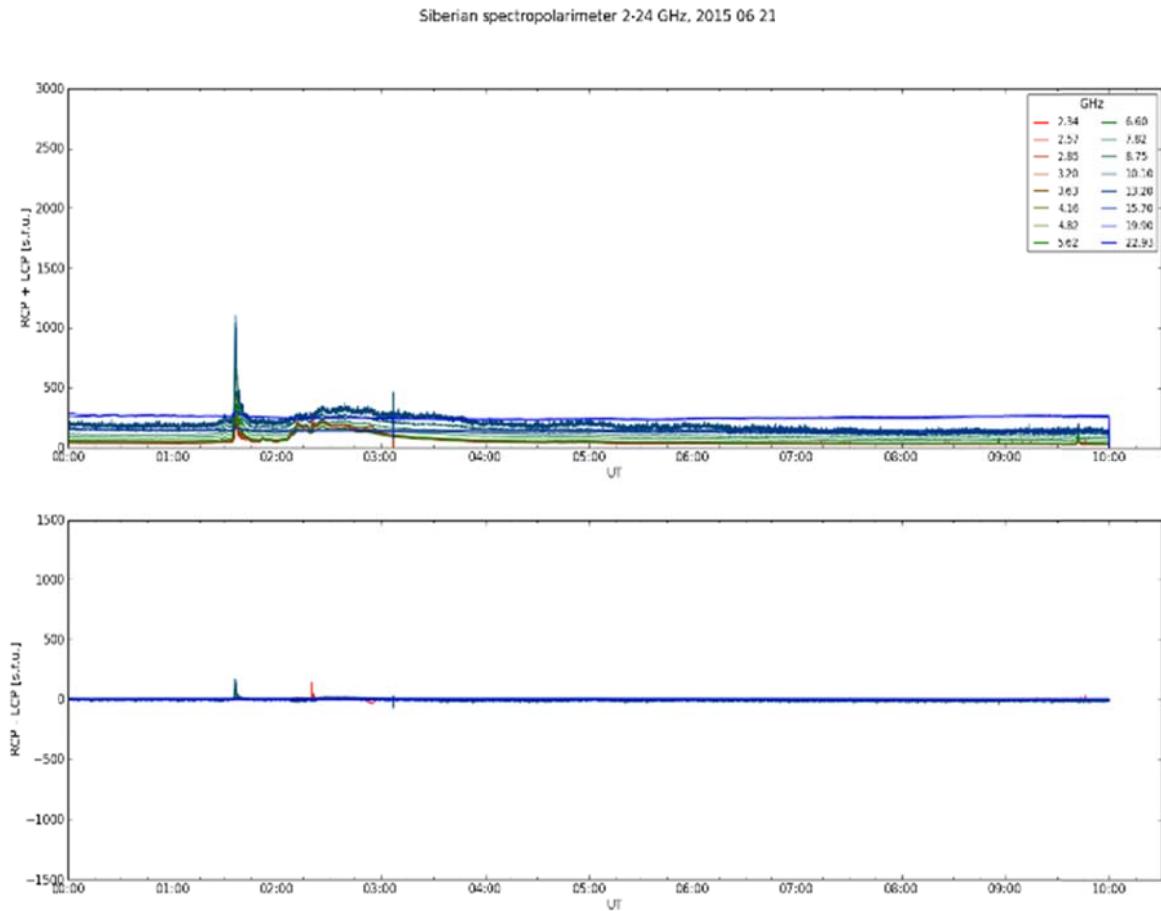


Рис. 191. Всплеск микроволнового излучения Солнца зарегистрированный спектрополяриметром 2–24 21 июня 2015 г.

**Изучение астроклиматических характеристик и проблем улучшения качества изображений при разработке технических предложений для создания крупного солнечного телескопа. Расчетная модель оптических характеристик нестабильности атмосферы**

Задача выбора наилучшего места для установки или строительства наземных телескопов с адаптивной системой требует не только традиционной информации о флюктуациях углов прихода света в плоскости апертуры как результата суммарного воздействия неоднородностей показателя преломления воздуха по всему лучу зрения, по которым оценивается качество плоского изображения в фокусе оптической конструкции. На этой же информации основана методика коррекции атмосферных искажений в исходном изображении с помощью деформируемых зеркал. Такая коррекция работает эффективно, если угол поля зрения телескопа  $\alpha$  не превышает  $d/h$ , где  $d$  — диаметр апертуры,  $h$  — эффективная высота атмосферы ( $\sim 30$  км). При большем поле зрения необходимо корректировать неоднородности показателя преломления, лежащие на всех лучах, составляющих поле зрения. Практически такую коррекцию, дополнительно к основной выполняют в плоскостях метаапертур (метазрачков), сопряженных с нижней кромкой наиболее турбулизированных атмосферных слоев.

Для выявления этих слоев, оценки интенсивности и геометрических параметров, необходимых при их коррекции адаптивной оптической системой, необходимо проведение специальных наблюдений за динамикой турбулентных характеристик во всем оптически активном слое воздуха (до 20–30 км).

Проведение специальных наблюдений в месте установки телескопа требуют накопления рядов измерений в течение длительного времени — от года и более. В связи с этими трудностями нами разработана методика (модель) косвенного (расчетного) определения турбулентных характеристик в оптически активном слое атмосферы с использованием сетевых радиозондовых осредненных метеорологических характеристик.

Методика создана на основе физических представлений о трансформации кинетической энергии крупномасштабных течений (крупных замкнутых и незамкнутых завихрений, струйных течений и др.) при их релаксации (дроблении в другие виды более мелких течений). Эксперименты показывают, что кинетическая энергия определенным образом распределяется по размерам атмосферных течений. Для разных слоев атмосферы это распределение носит устойчивый характер. Важно заметить, что устойчивый характер распределения определяется прежде всего сдвиговым механизмом генерации атмосферной турбулентности. Здесь важной задачей современной физики атмосферы является поиск закономерностей внутримасштабного обмена энергией неоднородностей вне зависимости от высоты над подстилающей поверхностью.

Расчетные значения турбулентных характеристик атмосферы по предлагаемой методике были сравнены с наблюдательными данными и показали удовлетворительное согласие. Кроме того, при сравнении с расчетами по другим моделям полученные результаты оказались ближе наблюдательным данным. Преимущество разработанной методики по сравнению с известными состоит в том, что расчеты интенсивности пульсаций выполняются для любых заданных интервалов волновых чисел турбулентного спектра.

Методика оценки характеристик оптической нестабильности земной атмосферы основана на спектральных особенностях атмосферной турбулентности в широком диапазоне масштабов. В частности, зная форму фонового энергетического спектра в широком диапазоне масштабов и характеристики колебаний в низкочастотной области спектра, можно количественно оценить фоновую оптическую нестабильность земной атмосферы для выбранного пункта. Амплитуды колебаний в низкочастотной области спектра рассчитываются по архивным данным в конкретный срок за промежуток времени 5 сут, соответствующий продолжительности естественного синоптического периода (5–7 сут). Рассчитанные амплитуды физически отражают низкочастотные колебания мелкомасштабной структуры атмосферной турбулентности. Расчет характеристик колебаний метеорологических величин также может быть выполнен для любого заданного диапазона масштабов на основе измеренных величин в произвольном интервале. На рис. 192 в широком диапазоне масштабов в билогарифмических координатах показана схема в безразмерных единицах фонового энергетического спектра атмосферной турбулентности для свободной атмосферы и атмосферного пограничного слоя. По оси абсцисс отложены относительные частоты, по оси ординат — относительные значения спектральной плотности колебаний.

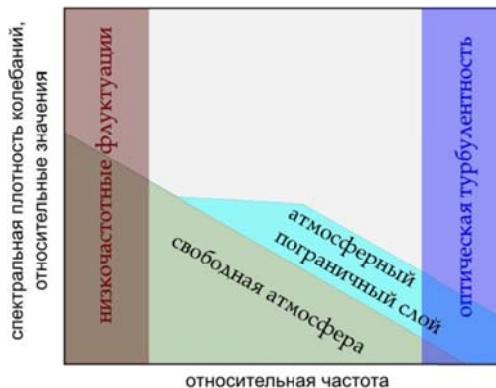


Рис. 192. Схема безразмерного энергетического спектра атмосферной турбулентности в широком диапазоне масштабов

По величине амплитуд колебаний в низкочастотной области и форме энергетического спектра в широком диапазоне масштабов можно рассчитать спектральную плотность высокочастотных (мелкомасштабных) флуктуаций в заданном интервале. Фоновый энергетический спектр атмосферной турбулентности может быть аппроксимирован как  $E(f) \sim f^{-3}$  в низкочастотной части и  $E(f) \sim f^{-5/3}$  в высокочастотной. Приведенная аппроксимация энергетического спектра в широком диапазоне масштабов хорошо выполняется для свободной атмосферы (в среднем выше 1.5 км). При этом в атмосферном пограничном слое в энергетическом спектре вблизи низкочастотной границы трехмерной турбулентности наблюдается «спектральная ступенька»: увеличение энергии мелкомасштабной турбулентности (рис. 192).

Далее, пользуясь расчетным аппаратом, развитым для моделей мелкомасштабной турбулентности, можно оценивать параметры оптической нестабильности, в частности, структурную характеристику пульсаций показателя преломления воздуха и радиус атмосферной когерентности. Получено хорошее согласие результатов апробации описанной методики с данными прямых длительных наблюдений на Паранальской Южно-Европейской обсерватории, а также с более короткими реализациями, полученными из прямых оптических и микрометеорологических наблюдений в месте расположения Байкальской астрофизической обсерватории и Саянской солнечной обсерватории.

В месте расположения крупного солнечного телескопа (КСТ-3) по данным архива NCEP/NCAR Reanalysis, по данным четырехразовых суточных наблюдений с 1984 по 2014 г. оценены дисперсии пульсаций температуры в низкочастотной области спектра на различных барических уровнях в оптически активном слое атмосферы от 0 до  $\sim 20$  км). Значения дисперсий пульсаций температуры  $\sigma_T^2$  в низкочастотном спектральном диапазоне для каждого слоя приведены в табл. 19.

Таблица 19. Дисперсия температуры воздуха в низкочастотном диапазоне спектра

Высота, км	0	1	2.2	3.5	5	7	8.3	10	11.6	14.2	16.5	18.6
$\sigma_T^2, (\text{°})^2$	14.5	17.2	14.1	11.9	9.8	4.8	7.0	16.2	6.8	3.6	3.1	3.3

Оценка величины в низкочастотной области спектра выполнялась следующим образом:

$$\sigma_T^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2$$
 где  $n$  — количество наблюдений,  $T_i$  — значение температуры в конкретный срок,  $\bar{T}$  — средняя температура в тот же срок за промежуток времени 5 сут, соответствующий продолжительности естественного синоптического периода (5–7 сут). Синоптический период является типичным времененным масштабом синоптических процессов в атмосфере.

На рис. 193 показана зависимость дисперсий пульсаций температуры, оцененных в низкочастотной области спектра, от высоты слоя для дневных условий. По оси абсцисс отложены значения дисперсии температуры воздуха, по оси ординат — высоты над уровнем Саянской солнечной обсерватории (2007 м). Переход от барической системы координат к геометрическим высотам осуществляется в приближении стандартной атмосферы.

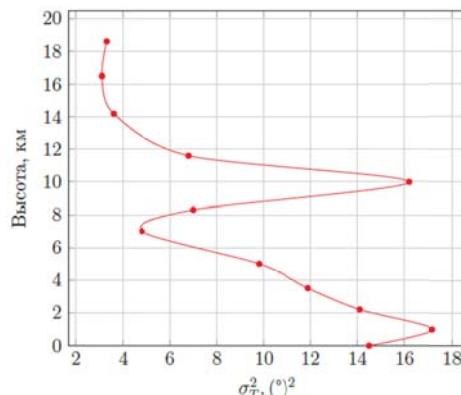


Рис. 193. Дисперсия температуры воздуха в низкочастотном диапазоне спектра для различных атмосферных слоев

Аппроксимируя фоновый энергетический спектр турбулентности в виде:  $E(f) \sim f^{-3}$  — в низкочастотной части и  $E(f) \sim f^{-5/3}$  — в высокочастотной части, по величине амплитуд колебаний в низкочастотной области, рассчитаны спектральные плотности высокочастотных (мелкомасштабных) флуктуаций температуры в диапазоне секундных интервалов.

Используя описанный спектральный подход, по расчетным величинам дисперсии пульсаций температуры были оценены значения структурной характеристики пульсаций показателя преломления:  $C_n^2 = (AP/T^2)^2 C_T^2$ , где  $A$  — эмпирический размерный коэффициент,  $P$  — парциальное давление сухого воздуха,  $T$  — температура воздуха,  $C_T^2 = \sigma_T^2 / (1.73 L^{2/3})$  — структурная характеристика пульсаций температуры воздуха,  $\sigma_T^2$  — дисперсия пульсаций температуры в высокочастотном диапазоне, оцениваемая по энергетическому спектру турбулентности в широком диапазоне масштабов,  $L$  — внешний масштаб турбулентности.

Таким образом, для различных высотных уровней атмосферы по данным архива NCEP/NCAR Reanalysis были определены значения. По результатам оценки структурных характеристик пульсаций показателя преломления, определенных на разных уровнях, был получен средний высотный профиль, показанный на рис. 194. Значения для каждого слоя приведены в табл. 20.

Таблица 20 Значения структурной характеристики пульсаций показателя преломления воздуха  $C_n^2$  (м<sup>-2/3</sup>)

Высота, км	0	1	2.2	3.5	5	7	8.3	10	11.6	14.2	16.5	18.6
$C_n^2$ , м <sup>-2/3</sup>	3.10· 10 <sup>-16</sup>	3.07· 10 <sup>-16</sup>	2.05· 10 <sup>-16</sup>	1.38· 10 <sup>-16</sup>	8.73· 10 <sup>-17</sup>	3.01· 10 <sup>-17</sup>	3.38· 10 <sup>-17</sup>	5.05· 10 <sup>-17</sup>	1.16· 10 <sup>-17</sup>	2.75· 10 <sup>-18</sup>	1.19· 10 <sup>-18</sup>	6.28· 10 <sup>-19</sup>

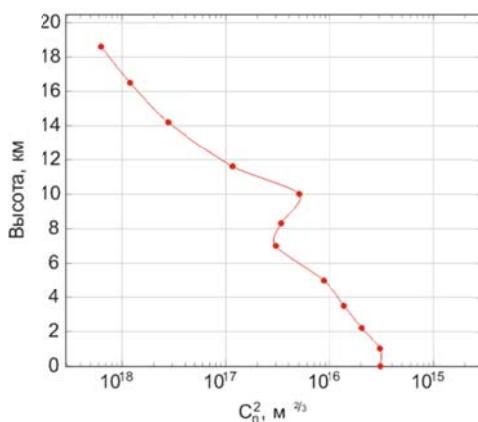


Рис. 194. Вертикальный профиль структурной характеристики пульсаций показателя преломления для дневных условий в месте расположения КСТ-3

Фоновые значения изменяются с высотой на три порядка. Анализ рис. 194 показывает, что повышенная турбулизация воздуха наблюдается в слоях 0–1 и 7–10 км.

Сложным звеном расчетной схемы является необходимость использования двух форм фоновых спектров турбулентности раздельно для пограничного слоя и свободной атмосферы. В перспективе имеются основания для конструирования объединенного спектра с виртуальной формой, отражающей свойства турбулентности пограничного слоя и свободной атмосферы.

### Публикации

- Носов В.В., Лукин В.П., Григорьев В.М., Ковадло П.Г., Носов Е.В., Торгаев А.В. Оптические свойства когерентной турбулентности в горном пограничном слое. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. 154 с. Принята к печати 11.09.2015 г.

2. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Исследование оптической турбулентности в условиях сильно устойчивой термической стратификации атмосферы // Изв. Иркутского государственного университета. 2015. Т. 12. С. 23–34.
3. Kopylov E.A., Bolbasova L.A., Goleneva N.V., Lavrinov V.V., Shikhovtsev A.Yu. Investigations of parameters of image quality for adaptive optical systems of BSVT // SPIE Proc. 21<sup>st</sup> Intern. Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2015. V. 9680. DOI: 10.1117/12.2205600.
4. Botygina N.N., Kopylov E.A., Lukin V.P., Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu. Variability of the atmospheric turbulence in the region of Lake Baykal // SPIE Proc. 21<sup>st</sup> Intern. Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2015. V. 9680. DOI: 10.1117/12.2205670.
5. Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu. The study of turbulence and optical instability in stably stratified Earth's atmosphere // SPIE Proc. 21<sup>st</sup> Intern. Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2015. V. 9680. DOI: 10.1117/12.2205997.
6. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Копылов Е.А. Об астроклиматических условиях в горных регионах юга Восточной Сибири // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, 14–18 сентября 2015. С. 313–315. CD-ROM.
7. Носов В.В., Григорьев В.М., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Носов Е.В., Торгаев А.В. Эффект перемежаемости турбулентности в высокогорных наблюдениях // Изв. вузов. Физика. 2015. Т. 58. № 8/3. С. 210–213.
8. Копылов Е.А., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Исследование изменчивости атмосферной турбулентности в районе озера Байкал // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, 14–18 сентября 2015. С. 319–321. CD-ROM.

**Разработка и создание специализированных систем наблюдения для решения широкого круга задач фундаментальной астрономии и прикладных задач контроля околоземного космического пространства. Разработка системы регистрации телескопа Цейсс-600 для наблюдения астероидов и малоразмерных космических объектов**

Задачей работы было оснащение телескопа Цейсс-600 усовершенствованной фотоприемной системой для проведения на нем высокоточных фотометрических и астрометрических измерений астероидов и малоразмерных космических объектов (КО).

Телескоп Цейсс-600 установлен в Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН (рис. 195). Основные параметры телескопа: двухзеркальная оптическая система Кассегрена; диаметр главного зеркала 0.6 м; эквивалентное фокусное расстояние 7.5 м.



Рис. 195. Телескоп Цейсс-600 в Саянской солнечной обсерватории

В отличие от оригинальной конструкции ось склонения телескопа оборудована автоматизированным приводом на базе шагового двигателя. Обе оси телескопа имеют датчики углового положения. Кроме того, установлен привод вращения и датчик углового положения купола. Таким образом, работа телескопа полностью автоматизирована, что позволяет проводить удаленные наблюдения при помощи специального программного обеспечения.

Для эффективного использования возможностей телескопа в кассегреновском фокусе была установлена новая система регистрации (рис. 196). Система состоит из набора широкополосных фильтров BVRI, размещенных в турели, и ПЗС-камеры.



Рис. 196. Система регистрации, установленная в фокусе телескопа Цейсс-600

Турель фильтров (тип CFW-5-7, FLI) рассчитана на установку до семи квадратных фильтров размером 50×50 мм и толщиной от 1 до 5 мм. Соответственно в четырех позициях турели были установлены фильтры BVRI производства компании FLI.

Камера PL4301 (FLI) установлена на базе ПЗС-приемника типа KAF-4301 производства фирмы Kodak. Параметры приемника: количество пикселей 2084×2084; размер пикселя 24 мкм; размер фотоприемной области 50×50 мм.

Совместно с параметрами телескопа Цейсс-600 результирующий масштаб изображения на камере составляет 0.66 "/пиксель при общем размере поля зрения 22'×22'.

Пропускание фильтров было измерено с помощью спектрофотометра Hitachi U-3400. Чувствительность ПЗС-камеры и полученные кривые пропускания близки стандартной фотометрической системе BVRI (рис. 197).

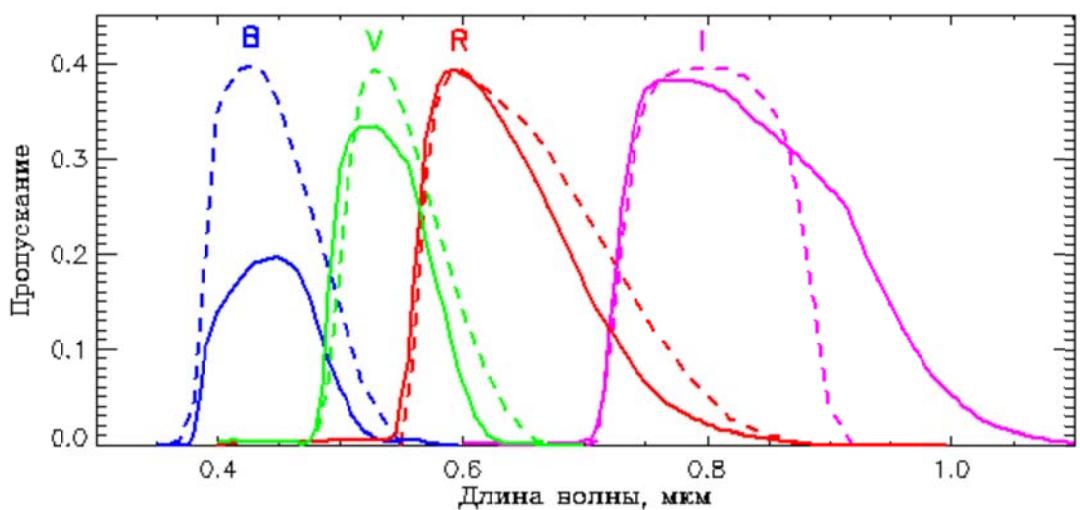


Рис. 197. Сплошные кривые — абсолютные кривые пропускания фильтров совместно с квантовой эффективностью ПЗС-камеры; штриховые кривые — нормированные кривые пропускания фильтров стандартной фотометрической системы.

Для созданной системы регистрации были получены цветовые коэффициенты для перехода от инструментальной к стандартной фотометрической системе. Для этого использовались измерения площадки PG0231 каталога стандартов Ландольта. По измерениям этой площадки получены следующие уравнения перехода для фильтров BVRI:

$$\begin{aligned} B &= B_i - 0.0213(B-V) + 25.1950, \\ V &= V_i - 0.0758(B-V) + 25.1264, \\ R &= R_i - 0.0742(V-R) + 25.5416, \\ I &= I_i + 0.0638(V-I) + 25.2070. \end{aligned}$$

Здесь индексом ‘*i*’ отмечены измеренные инструментальные звездные величины, а величины без индексов соответствуют каталожным значениям. Как видно, цветовые коэффициенты невелики и не превышают 0.1 звездной величины, что свидетельствует о близости стандартной фотометрической системе.

Размер фильтров совпадает с размером фотоприемника камеры (50 мм), а фильтры стоят перед камерой в сходящемся пучке. Это приводит к тому, что небольшой участок на краю изображения имеет сильное виньетирование (рис. 198, *a*).

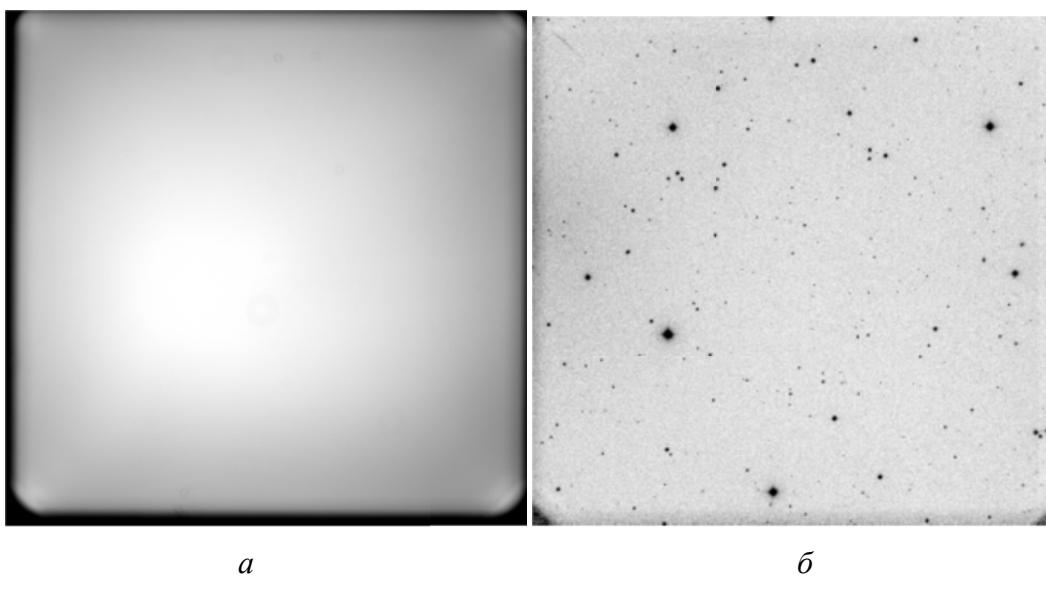


Рис. 198. Кадр плоского поля (*a*) с фильтром V; изображение (*б*) области неба (координаты центра  $\alpha = 14^{\text{h}}21^{\text{m}}04.4^{\text{s}}$ ,  $\delta = +18^{\circ}42'41''$ ) после учета плоского поля, фильтр V, экспозиция 120 с

За счет этого рабочее поле зрения несколько меньше максимального – размер поля зрения, где виньетирование не превышает 10 %, составляет  $\approx 20'$ .

Чувствительность системы регистрации была проверена по измерениям звездных полей и их сравнением с каталогом USNO-A2. На рис. 198 (*б*) приведен пример одного из таких изображений, полученных с фильтром V за время экспозиции 120 с. Предельная звездная величина (отношение  $S/N=3$ ) для этого кадра составляет  $\approx 20-20.5^{\text{m}}$ .

Разработанная система регистрации для телескопа Цейсс-600 подходит для выполнения широкого круга наблюдательных задач. Она имеет достаточно большое поле зрения ( $20'$ ), что является важным для поиска астероидов и уточнения положения объектов, орбитальные элементы которых известны неточно. Высокая чувствительность и близость параметров стандартной фотометрической системы BVRI позволяет проводить высокоточные фотометрические измерения, необходимые для изучения физических параметров космических объектов.

## 6. Работа обсерваторий ИСЗФ СО РАН

### 6.1. Байкальская астрофизическая обсерватория



Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО) расположена в пос. Листвянка в 70 км от Иркутска. Основным инструментом БАО является единственный в России Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ), входящий в «Перечень уникальных установок Российской Федерации» под номером № 01-29. Общий вид БСВТ показан на рис. 1. Кроме того, БАО оснащена тремя хромосферными телескопами, оборудованными интерференционно-поляризационными фильтрами (ИПФ) на диагностически важные линии  $\text{H}\alpha$

( $\lambda$  656.3 нм) и  $\text{K CaII}$  ( $\lambda$  393.4 нм), а также Солнечным телескопом оперативных прогнозов нового поколения (СТОП-1), входящим в уникальную российскую сеть из трех идентичных инструментов для мониторинга солнечного магнетизма (два других телескопа расположены в Уссурийске и в Кисловодске).

Основные задачи обсерватории — мониторинг солнечной активности и проблемно-ориентированные спектральные, спектрополяриметрические и фильтровые наблюдения нестационарных процессов в солнечной атмосфере с целью исследования механизмов их возникновения.

Наблюдения на инструментах обсерватории обеспечивали основные экспериментальные данные для решения научных задач, поставленных в проектах программы фундаментальных исследований СО РАН, проектах РФФИ и РНФ, а также ФЦП «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией РФ на 2008–2015 гг.» и др. Продолжалось выполнение традиционных, регулярных и оригинальных наблюдений, а также сопутствующих работ.

Завершен капитальный ремонт БСВТ и выполнена его настройка для выполнения спектрополяриметрических наблюдений. Модернизирована автоматическая система управления (АСУ) телескопом, изготовлено оборудование и программное обеспечение для контроля вакуума в трубе телескопа. Это позволило летом на протяжении 16 дней с хорошими погодными условиями провести наблюдения солнечных пятен и пор в широком спектральном диапазоне (600 нм). Наблюдения проводились в 5-м порядке дифракционной решетки с использованием двух камерных зеркал. В зависимости от погоды в течение одного дня наблюдений было получено от одной до шести серий спектрограмм, каждая из которых содержит около 70 кадров.

На комплексе хромосферных телескопов выполнялись регулярные и оригинальные наблюдения солнечной хромосфера в линиях  $\text{H}\alpha$  и  $\text{K CaII}$  с помощью узкополосных ИПФ и ПЗС-камер. Проведены профилактические работы по модернизации механических узлов  $\text{H}\alpha$ -телескопа, выполнена его покраска. В течение 80 дней наблюдений получено 720 изображений на кальциевом телескопе. На хромосферном телескопе в линии  $\text{H}\alpha$  в течение 45 дней (часть наблюдательного сезона была занята профилактическими работами) получено 27843 изображения. Пример изображения диска Солнца в линии  $\text{H}\alpha$  показан на рис. 199.

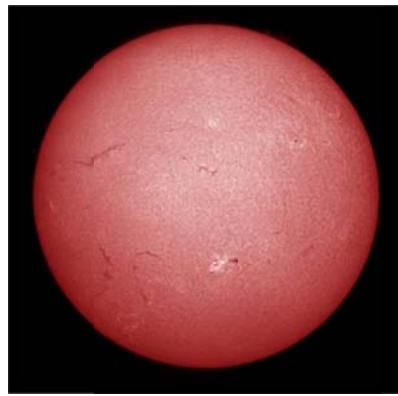


Рис. 199. Изображение Солнца в линии Н $\alpha$ , полученное на хромосферном телескопе БАО ИСЗФ СО РАН8 августа 2015 г.

На основе комплексного анализа различных наблюдательных данных, основу которых составляли наблюдения на Н $\alpha$ -телескопе, разработана усовершенствованная модель внепятенных вспышек. Для детального анализа временных изменений яркости вспышечных лент разработан и успешно использован специальный алгоритм построения световых кривых, применимый для вспышек любых баллов.

Продолжены измерения магнитных полей Солнца на телескопе оперативных прогнозов нового поколения СТОП-1. Высокоточные измерения магнитных полей позволили изучить обращение полярностей на полюсах Солнца, которое завершилось в 2015 г. Выполнены программа измерений магнитных полей Солнца, при этом в течение 91 дня получено 1494 магнитограммы полного диска. Продемонстрирована высокая степень совпадения данных (магнитограмм), получаемых на телескопах СТОП в БАО и в Кисловодске. Фотографии телескопов приведены на рис. 200.



Рис. 200. Фотографии павильонов телескопов СТОП нового поколения: слева — в БАО ИСЗФ СО РАН; справа — на Кисловодской Горной астрономической станции Главной астрономической обсерватории (ГАС ГАО РАН)

Продолжена работа по созданию архива наблюдательных данных БАО на электронных носителях. В 2015 г. создан архив фотогелиограмм за 1983–1999 гг. (4618 пластинок) и фильтрограмм в линии Н $\alpha$  за 1981 г. (759 кадров).

В БАО выполняли экспериментальные работы также другие институты Сибирского отделения РАН: Институт оптики атмосферы (г. Томск), Институт земной коры, Лимнологический институт (Иркутск).

В 2015 г. в Байкальской астрофизической обсерватории проходили практику студенты ИГУ и Иркутского технического университета. Регулярно проводились экскурсии для школьников, студентов и населения Иркутской области.

Штат постоянного обслуживающего персонала обсерватории состоит из 18 человек. При выполнении специальных и рутинных программ наблюдений группа научных сотрудников, аспирантов и инженеров составляет от 3 до 10 человек, включая дежурных наблюдателей.

## 6.2. Саянская солнечная обсерватория



Рис. 201. Саянская солнечная обсерватория. На переднем плане представлены башни основных инструментов астрокомплекса — телескопа АЗТ-33 ИК (левая башня) и телескопа АЗТ -33ВМ (правая башня)

Саянская солнечная обсерватория (ССО), расположена на высоте более 2000 м на расстоянии около 320 км от Иркутска вблизи с. Монды в Республике Бурятия. Основные телескопы ССО для ночных наблюдений показаны на рис. 201.

Обсерватория является основной экспериментальной базой для выполнения программ наблюдений по солнечной физике, солнечно-земной физике и контролю космического пространства. Работы ведутся в круглосуточном режиме: в светлое время суток — наблюдения на солнечных оптических телескопах, в темное время суток — наблюдения астрофизических объектов, космических аппаратов и космического мусора на звездных оптических телескопах.

2015 г. ознаменовался важным событием — после многолетних усилий удалось ввести в опытную эксплуатацию новый уникальный инструмент — широкоугольный телескоп АЗТ-33 ВМ, предназначенный для скоростных обзоров неба и решения проблем астероидно-кометной опасности. На рис. 202 представлены фотографии, иллюстрирующие процесс монтажа телескопа АЗТ 33ВМ и его общий вид после завершения сборки.



Рис. 202. Процесс монтажа АЗТ-33 ВМ (левая панель, подъем корпуса часовой оси) и общий вид телескопа после завершения сборки

На автоматизированном солнечном телескопе (АСТ) продолжались работы, связанные с исследованием особенностей колебательных процессов в солнечной атмосфере на разных высотах и в различных структурных образованиях. За год получено 182 временных серий (из них 83 с двумерным сканированием). Средняя длительность серии составила 86 минут. Разброс по длительности: 20–300 мин. Общая база данных содержит сотни тысяч кадров. Особенностью наблюдательного сезона 2015 г. является начавшийся переход от чисто спектральных наблюдений к спектрополяриметрическим. Тестовые вектор-магнитографические измерения активных областей показали весьма надежные результаты применительно к продольным полям. В то же время при работе новых анализаторов поля-

ризации были выявлены определенные проблемы в детектировании поперечных магнитных полей. Проводились работы по совершенствованию механической конструкции электрооптических анализаторов поляризации и электронных систем управления ими.

На телескопе СТОП в рамках проекта СО РАН П.16.3.1. «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности» выполнялись регулярные измерения напряженности общего магнитного поля Солнца, регистрировались полнодисковые магнитограммы, показывающие распределение крупномасштабных магнитных полей по диску Солнца. Общее число дней наблюдений январе–ноябре составляет 124. Проведено 108 измерений напряженности общего магнитного поля Солнца и получено 97 магнитограмм крупномасштабных магнитных полей.

Данные наблюдений интенсивности космических лучей станций Саянского спектрографа представляются on-line на сайте 84.237.21.4 в виде графиков и текстовых файлов, хранятся на ftp-сервере и в базе данных в ИСЗФ СО РАН. Кроме того, проводятся обновление международной базы данных nmdb.eu представление данных в Мировой центр данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ).

Для обеспечения в режиме реального времени стабильной работы станций космических лучей произведены:

- замена неисправного оборудования,
- установка дополнительного программного обеспечения,
- подключение источников бесперебойного питания (ИБП),
- ревизия системы обогрева станций.

На телескопе «Цейсс-600» проводились фотометрические измерения блеска астероида 1988 BS3. Результаты спектрально-временной анализ изменения блеска астероида, можно рассматривать как свидетельствующие о наличии у данного астероида спутника. Было проведено 12 наблюдения избранных экзопланет транзитным методом.

На телескопе АЗТ-33ИК выполнены наблюдения площадок космических гамма-всплесков (GRB). С января по ноябрь 2015 г. наблюдались площадки 11 различных GRB (150120B, 150211A, 150222A, 150302A, 150323C, 150518A, 150818A, 150819A, 151006A, 151022A, 151027A). По результатам измерений опубликовано 17 циркуляров Gamma-Ray Coordination Network (GCN).

Продолжены экспериментальные наблюдения космического аппарата (КА) Gaia (международный номер 39479), находящегося в окрестности точки Лагранжа L2. Всего было сделано 23 проводки с 400 измерениями прямого восхождения, склонения и видимого блеска КА Gaia. Целью наблюдений была отработка методики наблюдений космических объектов (КО) на сверхвысоких орбитах, получение оценок качества астрометрических и фотометрических наблюдений КА в точке Лагранжа L2.

Продолжены мониторинговые фотометрические измерения оптического излучения микреквазара Cyg X-1 в полосах BVRI (8 ночей).

Проведены фотометрические и астрометрические наблюдения потенциально опасного астероида 2015 TB145 в течение четырех ночей.

В течение 2015 г. в рамках обеспечения Главного информационно-аналитического центра (ГИАЦ) Автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП) и сегмента анализа некоординатной информации АСПОС ОКП измерительной информацией выполнены координатные и фотометрические измерения следующих КА:

- гидрометеорологического комплекса «Электро-Л»;
- геостационарных телекоммуникационных спутников серии «Ямалы», «Экспрессы», «Лучи»;
- КА глобальной навигационной спутниковой системы «Глонасс»;
- лазерных юстировочных спутников «Эталон»;
- космического радиотелескопа «Спектр-Р»;
- низкоорбитальных, в том числе малых КА.

Фотометрическая информация представлена в виде временных и фазовых зависимостей блеска в интегральном оптическом диапазоне и спектральных полосах B, V, R стандартной фотометрической системы. Общее количество наблюдавшихся объектов — 73. Количество полученных серий измерений — 290.

На модернизированном телескопе АЗТ-14 ССО проводились регулярные траекторные наблюдения высокоорбитальных КО в интересах системы контроля космического пространства. В течение 204 наблюдательных ночей сделано 2636 проводок по 997 каталогизированным высокоапогейным КО. Из них 617 КО представляют особый интерес для Центра по контролю космического пространства (ЦККП). Выполнен анализ орбитальных параметров наблюдавшихся КО: 706 — геосинхронных; 291 — высокоэллиптического, из них 3 КО — на орbitах типа «Молния».

Особое внимание уделялось поиску и наблюдению малоразмерных фрагментов космического мусора (КМ) слабее 15 зв. величины и объектам с большим отношением площади к массе. Получена информация по 508 объектам с блеском до 18.5 звездной величины и отношением площади к массе до  $50 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Измерительная информация, полученная на модернизированном АЗТ-14, в кооперации с другими наблюдательными пунктами наземной сети оптических средств позволила каталогизировать 84 неизвестных ранее или давно потерянных КО (40 геосинхронных и 44 высокоэллиптических).

В период с 9 по 31 октября 2015 г. проведены четыре экстренных сеанса поиска и наблюдения падающего КА типа «Молния».

За отчетный период также проведены 42 10-минутных сеанса наблюдений сверхдальнего КА «Спектр-Р».

В ССО работали сотрудники Специальной астрофизической обсерватории РАН, Института космических исследований РАН, АО «ЛОМО».

В ССО проходили преддипломную практику, писали дипломные и курсовые работы 5 студентов. В обсерватории прочитан курс лекций по физике Солнца и проведены практические занятия. Регулярно проводятся экскурсии для школьников и абитуриентов.

В 2015 г. в ССО работали 28 научных сотрудников, штат постоянного обслуживающего персонала обсерватории состоит из 15 человек. При выполнении специальных и рутинных программ наблюдений группа научных сотрудников и инженеров составляет от 5 до 20 человек, включая дежурных наблюдателей.

### 6.3. Радиоастрофизическая обсерватория

Радиоастрофизическая обсерватория (РАО) «Бадары» ИСЗФ СО РАН расположена в



230 км от Иркутска в Тункинской долине (Республика Бурятия). Основной инструмент обсерватории — уникальный Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ), позволяющий получать двумерные радиоизображения Солнца с временным разрешением 1–4 мин.

Завершен монтаж оборудования многоволнового радиогелиографа в диапазоне частот 4–8 ГГц (рис. 203). Первые радиоизображения Солнца получены в

июне 2015 г. (рис. 204). Проводится настройка приемной системы.

Вспомогательные инструменты — спектрополяриметры на диапазоны 4–8 ГГц и 2–24 ГГц. В диапазоне 4–8 ГГц временное разрешение составляет до 10 мс, что позволяет наблюдать динамические спектры быстропротекающих процессов в солнечной короне. Количество частотных каналов 26, ширина полосы частот каждого каналов 50 МГц.



Рис. 203. Общий вид РАО. Крестообразная антенная решетка — ССРТ. Рядом со зданием расположены спектрополяриметры

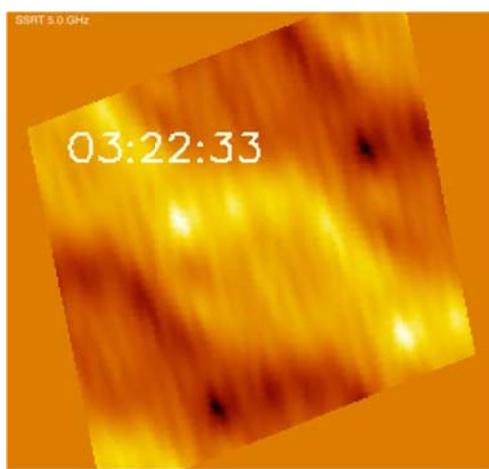


Рис. 204. Первое изображение Солнца, полученное на многоволновом радиогелиографе на частоте 5 ГГц, 3 июня 2015 г.

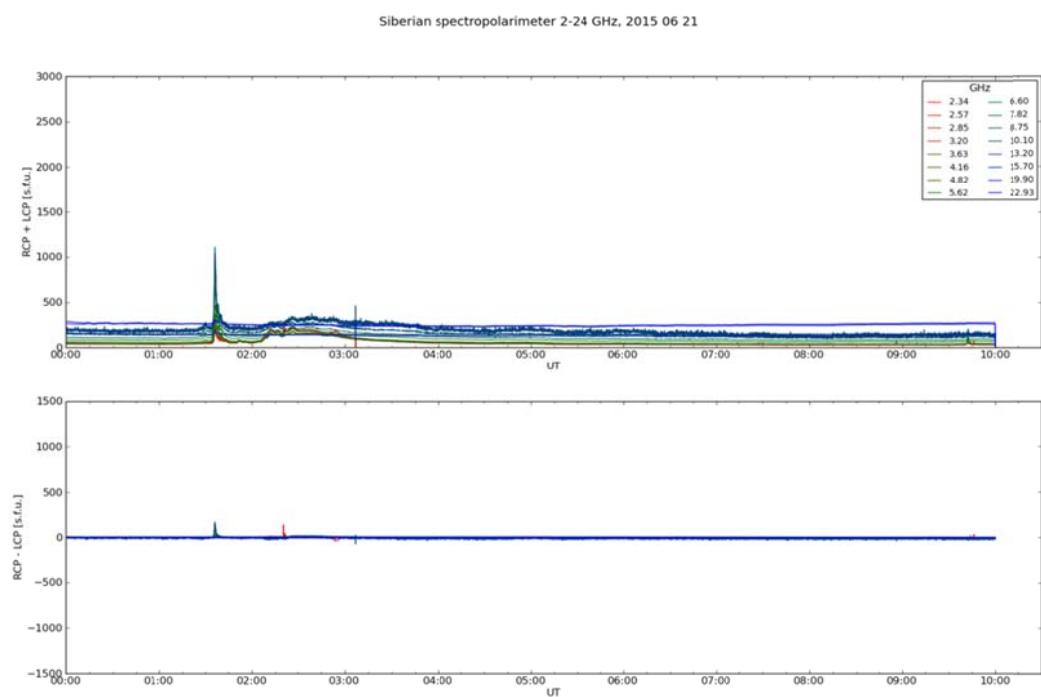


Рис. 205. Солнечная вспышка 21 июня 2015 г., зарегистрированная спектрополяриметром (диапазон 2–24 ГГц)

В диапазоне 2–24 ГГц время накопления сигнала в одном частотном канале разрешение до 0.1 с, частотное разрешение 50 МГц, количество каналов определяется задачей, в штатном режиме используется 16 каналов. В диапазоне 2–24 ГГц можно получать динамические спектры широкополосных всплесков микроволнового излучения Солнца. Наблюдения осуществляются регулярно в светлое время суток, результаты наблюдений обрабатываются и хранятся как в обработанном, так и в исходном виде. На рис. 205 приведен пример наблюдения 21 июня 2015 г. солнечной вспышки в интенсивности и круговой поляризации в диапазоне 2–24 ГГц.

#### 6.4. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория



и

Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория обладает широким комплексом геофизических инструментов для наблюдения геомагнитного поля и параметров ионосферы включает в себя два научных геофизических стационара, находящихся на территории Иркутской области (Патроны, Узур), и две станции в Красноярском крае (Норильск) и в Бурятии (Монды). Эти обсерватории проводят круглосуточный круглогодичный мониторинг состояния ионосферы и электромагнитного поля Земли в широком диапазоне периодов.

**Магнитная обсерватория «Иркутск» (МО «Иркутск»)** основана в 1887 г. и является одной из старейших в России. Обсерватория расположена в пос. Патроны на расстоянии 21 км от Иркутска.

МО «Иркутск» предназначена для экспериментального исследования магнитного поля Земли (МПЗ) путем непрерывной трехкомпонентной регистрации его абсолютных значений и вариаций в частотном диапазоне от 0 до 1 Гц. Она оснащена стандартными и уникальными магнитометрическими инструментами, позволяющими получать данные о геомагнитном поле на уровне мировых стандартов. Архивы обсерватории хранят непрерывный ряд наблюдений с 1887 г.

МО «Иркутск» с 1996 г. включена в мировую сеть магнитных обсерваторий «Интермагнет» (международный код IRT), куда ежесуточно передает минутные данные вариационных наблюдений МПЗ (данные доступны по адресу [www.intermagnet.org](http://www.intermagnet.org)), а также выставляет ежечасно данные на сайте Института (<http://magnit.iszf.irk.ru/ogmo/patron/>).

Обсерватория оказывает методическую, консультационную и техническую помощь в проведении и организации наблюдений различным предприятиям Сибирского региона и зарубежным коллегам из стран Азиатского региона, проводит поверку магнитоизмерительных приборов по запросам различных учреждений Сибири и Дальнего Востока.

В 2015 г. в обсерватории проводились непрерывные наблюдения за вариациями геомагнитного поля тремя сериями магнитометров:

- трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-018;
- трехкомпонентная станция «КВАРЦ»;
- трехкомпонентная магнитовариационная станция NVS.

Ежедневно проводились абсолютные измерения компонент МПЗ:

- полный вектор МПЗ измерялся протонным оверхаузеровским магнитометром POS-1.
- склонение и наклонение элементов МПЗ измерялись высококлассным феррозондовым деклинометром-инклинометром MAG-001 фирмы «Бартингтон» (Англия) на теодолите фирмы «Цейсс».

Данные о вариациях МПЗ по интернет-каналам передаются в институт каждые 15 мин. и выставляются на сайтах ИСЗФ и ИПГ.

Результаты наблюдений в обсерватории использовались для выполнения исследований по следующим направлениям:

- уточнение и детализация моделей постоянного геомагнитного поля, слежение за его вековыми вариациями, мониторинг процессов, связанных с медленными изменениями
- величины и направления земного магнитного момента, отражением которых является перемещение магнитных полюсов Земли;
- привязка спутниковых магнитных измерений при построении моделей постоянного и переменного геомагнитного поля, при разработке численных моделей магнитосферы;
- разработка методов определения по наземным данным распределения проводимости, электрического потенциала и плотности трехмерных токов в ионосфере и магнитосфере Земли;
- исследование природы магнитных возмущений, магнитосферных бурь и суббурь, их проявлений в среднеширотной магнитосфере;
- обеспечение фоновой магнитной обстановки при исследованиях ионосферных процессов и условий распространения радиоволн;
- оперативный мониторинг состояния переменного МПЗ при решении задач прогнозирования космической погоды.

По данным абсолютных измерений на МО «Иркутск» в 1999 г. был построен вековой ход компонент МПЗ с 1887 по 2014 г. После многолетних поисков был найден отчет директора Иркутской магнитно-метеорологической обсерватории А.В. Вознесенского. Используя данные, приведенные в этом отчете, мы построили график изменения  $D$ -компоненты начиная с 1735 г., а  $H$ -компоненты — с 1830 г. рис 206.

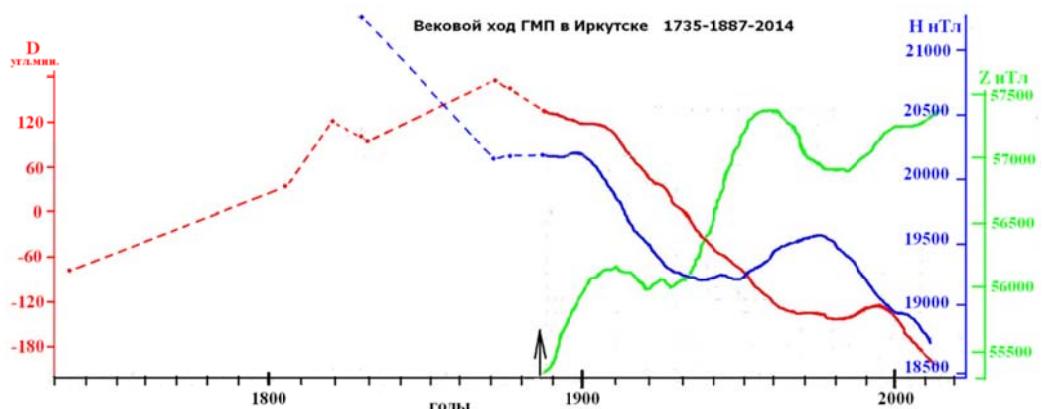


Рис. 206. Вековой ход  $D$ - и  $H$ -компонент геомагнитного поля в Иркутске 1735–1887–2014 гг. Стрелкой отмечено начало работы магнитно-метеорологической обсерватории «Иркутск» (1887 г.)

После реконструкции вариационного павильона (в 2014 г. был пристроен тамбур перед входными дверями) значительно улучшился температурный режим кабинах, где расположены феррозондовые датчики магнитного поля. На рис. 207 показан вариационный павильон после реконструкции.



Рис. 207. Вариационный павильон после реконструкции

### ***Ионосферная станция «Иркутск»***

Ионосферная станция «Иркутск» оснащена ионозондом DPS-4 — одним из наиболее современных и распространенных средств радиозондирования ионосферы. DPS-4 состоит из основного блока, монитора; двух передающих антенн; четырех приемных антенн с поляризационными ключами; GPS-приемника и блока батарей резервного питания.

Ионозонд позволяет получать полную и всеобъемлющую информацию о параметрах ионосферы:

- амплитуду (максимальное разрешение 3/4 дБ);
- фазу (максимальное разрешение 2 р/256 рад);
- задержку (максимальное разрешение 16.66 мкс);
- доплеровский сдвиг частоты (максимальное разрешение 0.024 Гц);
- вертикальный угол прихода;
- азимутальный угол прихода.

Диагностика ионосферы включает восстановление профиля электронной концентрации и измерение скорости дрейфа ионосферной плазмы. Восстановление профиля электронной концентрации осуществляется на основе обработки ионограмм.

Скорость дрейфа ионосферной плазмы измеряется по характеристикам сигналов, отраженных от ионосферных неоднородностей.

В 2015 г. ионозонд, расположенный в Институте, работал в штатном 15-минутном режиме без сбоев.

***Байкальская магнитно-металлическая обсерватория «Узур»*** расположена на севере о. Ольхон оз. Байкал в 350 км от Иркутска.

В БМТО в 2015 г. проводились непрерывные круглосуточные круглогодичные наблюдения низкочастотных горизонтальных электромагнитных полей на универсальной многокомпонентной станции Lemi-418, которые включали:

- измерения вариаций МПЗ — частотный диапазон 0–1 Гц, (трехкомпонентный феррозонд);
- трехкомпонентные измерения магнитных составляющих геомагнитных пульсаций — частотный диапазон 0.001–200 Гц (индукционный нанотесламетр);
- измерения земных токов, частотный диапазон 0.001–200 Гц.

В 2013 г. была задействована вертикальная линия измерения земных токов. Нижний электрод размещен в скважине на глубине 48 м, а верхний — на глубине 4 м. В настоящее время БМТО «Узур» является единственной станцией в России, где проводятся трехкомпонентные измерения земных токов.

В 2013 г. были также установлены новые приборы, которые после годичной работы в тестовом режиме переведены в режиме постоянной регистрации:

- приемник сигналов с навигационных спутников GPS/GLONAS для определении полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере и магнитосфере,
- электростатический флюксметр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы.

Помимо этой аппаратуры, Бурятским научным центром на станции установлен приемник сейсмосигналов для исследования землетрясений в зоне Байкальской рифтовой зоны. В настоящее время он работает в штатном режиме.

Данные этого комплекса ежедневно передаются по интернет-каналам в Институт для использования в исследованиях фундаментального и прикладного характера. На рис. 208 приведен пример регистрации в БМТО «Узур» параметров магнитного поля и атмосферы Земли.

Непрерывные наблюдения в БМТО геомагнитных пульсаций ведутся с 1967 г. Таким образом, имеются данные регулярных наблюдений за 48 лет, а за предшествующие 5 лет — фрагментарные материалы регистрации. В архиве данных имеются уникальные материалы синхронных записей шести компонент низкочастотного электромагнитного поля, выполненные во время специальных экспериментов на льду оз. Байкал.

09 мая 2015 года обс. Узур

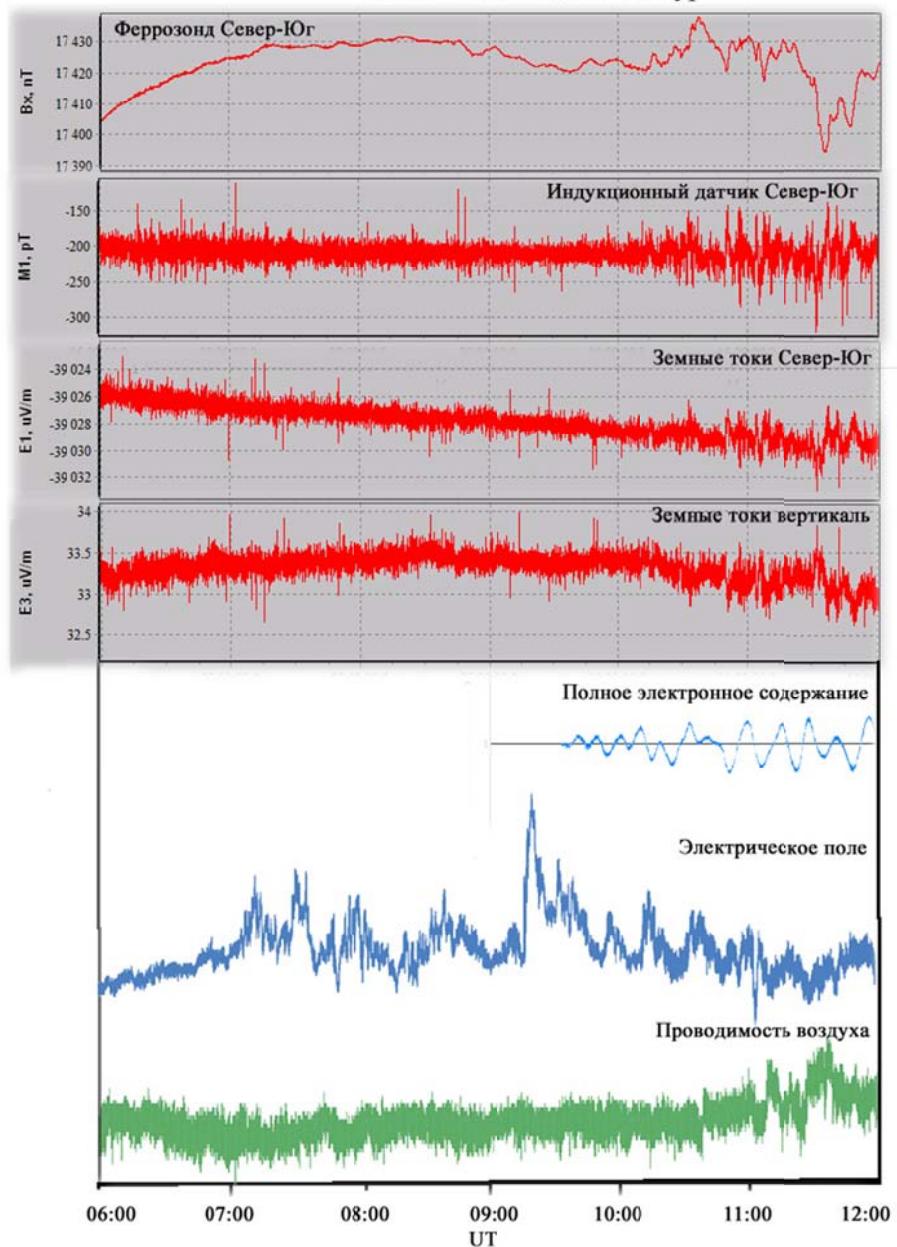


Рис. 208. Синхронная регистрация параметров магнитного поля (трехкомпонентный ферро-зонд, трехкомпонентный индукционный магнитометр, установка земных токов), (ПЭС) (GPS\ГЛОНАСС-приемник) и электрических параметров атмосферы (электростатического флюк-сметра)

Необходимо отметить следующее. Этот стационар находится в зоне повышенной сейсмической активности, вдали от промышленных предприятий, дающих электромагнитные помехи при высокочувствительных и прецизионных наблюдениях за комплексом геоэлектрических явлений. Такие условия позволяют проводить уникальные высокоточные эксперименты по регистрации параметров окружающей среды, начиная с поверхности Земли и вплоть до орбиты геостационарных спутников.

Материалы, получаемые в этой обсерватории, будут использоваться для решения целого ряда важных фундаментальных и прикладных научных задач как то:

- изучение резонансных колебаний магнитосферы, наземная локация по данным одной станции положения резонансной магнитной оболочки;

- поиск электромагнитных предвестников землетрясений;
- наблюдение за распространяющимися в ионосфере электромагнитными сигналами, вызванными воздействием на ионосферу процессов в магнитосфере и литосфере;
- регистрация слабых электромагнитных излучений, генерируемых микро- и макропроцессами на границе магнитосферы при взаимодействии ее с солнечным ветром.

Работа такого экспериментального комплекса в БМТО «Узур» свидетельствует о новом витке в развитии современной экспериментальной базы электромагнитных наблюдений, важном и значимом не только для ИСЗФ СО РАН, но и для многих заинтересованных академических институтов и других ведомств.

Необходимо отметить, что, помимо наблюдений в вышеуказанных обсерваториях, КМИО проводит регулярные наблюдения за комплексом геофизических явлений в следующих пунктах:

**Обсерватория «Монды».** (Координаты: 51.62° N; 100.92° E.)

В обсерватории установлен и функционирует современный цифровой индукционный нанотесламетр Lemi-30, который производит регистрацию геомагнитных пульсаций в диапазоне частот 0–30 Гц. В настоящее время этот прибор работает в круглосуточном режиме.

**Пункт приема сигналов спутников GPS/ГЛОНАСС**

Для приема сигналов со спутников GPS/ГЛОНАСС в обс. «Монды» был установлен двухчастотный приемник Javad Delta-G3T, модифицированный для проведения амплитудных измерений (рис. 209). Приемник работает в комбинации с антенной RingAnt-G3T. Для монтажа антенны в горизонтальном положении используется специальная двухпластинная конструкция, аналогичная установленным в других обсерваториях ИСЗФ СО РАН (в Усолье-Сибирском, Листвянке, Торах, Патронах).



*Рис. 209. Павильон для размещения приемника GPS/ГЛОНАСС в Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН*

Приемник обеспечивает кодовые, фазовые и амплитудные измерения на частотах L1 и L2 одновременно по всем находящимся в зоне видимости спутникам GPS, ГЛОНАСС, GALILEO. Данные измерений приемника поступают непосредственно в управляющий компьютер, где производится их запись и временное хранение. В качестве управляющего компьютера используется компактная модель Nettop Intel D525MW, идентичная установленной в пунктах TORY, LIST, PATR. Связь с управляющим компьютером осуществляется по интерфейсу USB. На управляющем компьютере установлена ОС Linux Ubuntu 11.10. Для управления работой приемника, получения данных с приемника и записи их на жесткий диск управляющего компьютера используется разработанный комплекс Linux-

программ, аналогичный применяемому в пунктах LIST, PATR. Передача данных из управляющего компьютера в центр сбора данных в ИСЗФ СО РАН производится с курьером.

**Норильская комплексная магнитноионосферная станция (КМИС г. Норильск, Красноярский край).**

На этой станции проводятся наблюдения за комплексом магнитосферно-ионосферных возмущений. В настоящее время на КМИС проводятся следующие наблюдения:

*Вариационные наблюдения за магнитным полем Земли.* На КМИС функционируют две дублирующие магнитовариационные станции:

- цифровая трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-008;
- аналоговая станция «Кварц» на основе датчиков Боброва с выходом на ПК;

*Абсолютные измерения МПЗ* проводятся:

- оверхаузерским протонным магнитометром POS-1 — полный вектор;
- феррозондовый деклинометр-инклинометр MAG-01Н THEO 015 В (регистрация наклонения и склонения ЭМПЗ).

*Наблюдения геомагнитных пульсаций:*

- трехкомпонентный индукционный магнитометр Lemi-30 (частотный диапазон 0–30 Гц).

Ежедневно данные о МПЗ передаются на сервер института по каналам Интернета.

*Вертикальное зондирование ионосферы*

• цифровой дигизонд DPS-4 (работает с 2002 г.) Основное назначение — регистрация ионограмм вертикального зондирования с последующим расчетом профиля электронной концентрации и следующих ионосферных характеристик:

- амплитуды (максимальное разрешение 3/4 дБ);
- фазы (максимальное разрешение 2 пк/256 рад);
- задержки (максимальное разрешение 16.66 мкс);
- доплеровского сдвига частоты (максимальное разрешение 0.024 Гц);
- вертикального угла прихода;
- азимутального угла прихода.

В 2015 г. ионозонд работал в штатном 15-минутном режиме без сбоев.

*Наклонное зондирование ионосферы:*

- ЛЧМ-установка.

Установленная на КМИС система спутникового интернета позволяет оперативно передавать данные наблюдений в Институт по системе удаленного доступа практически со всех инструментов, установленных на Норильской КМИС, с любой степенью скважности, вплоть до реального времени.

В 2015 г. на НорКМИС проводились ремонтные и профилактические работы по обслуживанию аппаратуры всего геофизического комплекса.

На аппаратуре по регистрации геомагнитных пульсаций был заменен кабель между датчиками и регистрирующим блоком с целью уменьшения помех искусственного происхождения. Для оценки работоспособности отремонтированного комплекса были проведены тестовые испытания. Был выбран период с развитием магнитосферных возмущений, и проведен анализ спектрального состава зарегистрированных пульсаций.

Ниже на рис. 210 приводится пример регистрации геомагнитных пульсаций в период развития магнитного возмущения, динамический спектр зарегистрированного сигнала.

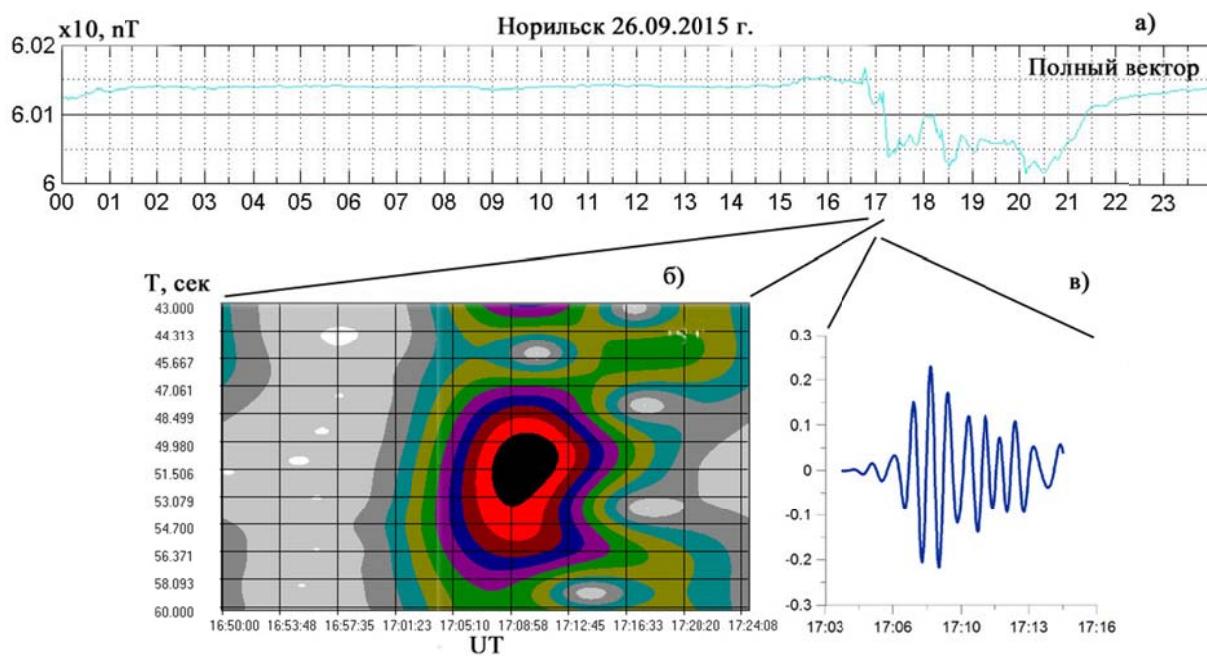


Рис. 210. Возбуждение геомагнитных пульсаций в период развития магнитной суббури 26.09.2015 г.:

- а — вариации полного вектора МПЗ на ст. Норильск;
- б — динамический спектр геомагнитных пульсаций Pi2 (ст. Норильск);
- в — аналоговая форма Pi2

Таким образом, Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория ведет непрерывную круглогодичную круглосуточную регистрацию параметров МПЗ и его колебаний во всем диапазоне частот, мониторинг состояния ионосферы — как в средних широтах, так и в авроральной зоне. Эти данные используются не только в подавляющем большинстве программ и проектов, ведущихся в институте, но и в рамках международных научных программ, при исследовании процессов в солнечно-магнитосферно-атмосферной системе и для мониторинга и прогноза космической погоды. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория первой в России включена в международную программу сбора геомагнитных данных «Интермагнет». Информация, полученная в обсерватории, передается в отечественные и международные центры сбора данных, используется для обмена. Результаты наблюдений выставляются в сети Интернет на домашней интернет-странице ИСЗФ [[www.iszf.irk.ru](http://www.iszf.irk.ru)] и на сайтах других исследовательских центров (ИЗМИРАН — [[www.izmiran.rssi.ru](http://www.izmiran.rssi.ru)], ААНИИ — [[www.aari.nw.ru](http://www.aari.nw.ru)], ИНТЕРМАГНЕТ — [[www.intermagnet.ru](http://www.intermagnet.ru)], Токийского университета — [<http://hrep3.eps.s.u-tokyo.ac.jp>] и других).

В целом в 2015 г. практически все виды наблюдений велись в рамках отечественных и международных программ, проводился весь комплекс обсерваторских наблюдений для выполнения следующих фундаментальных задач:

- исследование процессов формирования космической погоды и разработка методов ее диагностики и прогнозирования;
- сбор информации для построения моделей передачи энергии от солнечных источников в магнитосферу и атмосферу Земли;
- изучение физических процессов воздействия Солнца и солнечного ветра на земной климат и метеоусловия;
- пополнение многолетних рядов наблюдений с целью выявления и уточнения долговременных трендов и тенденций в солнечно-земных процессах;
- сбор и передача результатов наблюдений и их интерпретация и представление в общедоступном виде в сети Интернет и других средствах массовой информации.

– выполнение федеральной целевой программы «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008–2015 гг.» по теме «Разработка предложений по формированию наземной, самолетной и космической составляющих сети геофизического мониторинга».

#### **Оперативный мониторинг:**

Магнитная обсерватория «Иркутск» (Патроны, международный код IRT) ежесуточно передает минутные данные вариационных наблюдений МПЗ в международную сеть Intermagnet (эти данные доступны по адресу [www.intermagnet.org](http://www.intermagnet.org)), а также ежечасно данные выставляет на институтской странице.

Данные доступны по адресу: <http://magnit.iszf.irk.ru/ogmo/patron/>.

Всего в 2014 г. на стационарах Комплексной магнитно-ионосферной обсерватории ИСЗФ СО РАН работало 30 научных сотрудников института, 22 сотрудника других институтов, 4 представителя СО РАН, 5 представителей различных вузов (Бурятский государственный университет, Байкальский государственный университет экономики и права, Иркутский государственный технический университет, Иркутский университет путей сообщения (ИрГУПС)).

В заключение следует отметить, что отсутствие запланированного финансирования не позволило выполнить ряд регламентных и модернизационных работ в обсерваториях. Основные усилия коллектива КМИО были сосредоточены на поддержании бесперебойной работоспособности всех приборов. Ограничение финансирования негативно отразилось и на качестве получаемого экспериментального материала. На пример, не были приобретены блоки двойного бесперебойного питания электроэнергией для научной аппаратуры, что приводило к перебоям в работе и сбоям в записи геофизической информации. На ряде станций не были устраниены замечания, сделанные комиссией СО РАН по охране труда и ТБ. Так, на БМТО «Узур» не были заменены сгнившие опоры электролиний, аккумуляторный павильон по-прежнему не удовлетворяет нормам ОТ и ТБ. Запланированный капитальный ремонт износившихся зданий и сооружений не сделан.

#### **6.5. Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция**



Основной задачей Норильской КМИС является выполнение регулярных координированных наблюдений на комплексе радиофизических, магнитометрических, космофизических и оптических инструментов по программам фундаментальных исследований СО РАН, Президиума РАН, а также в рамках совместных научных исследований с организациями РАН, Минобрнауки, Роскосмоса и международных проектов. Полученные данные о характеристиках высокоширотной ионосферы и магнитосферы используются при уточнении и построении различных моделей околоземного космического пространства, исследованиях механизмов взаимодействия солнечного ветра с земной магнитосферой и для диагностики внутримагнитосферных и ионосферных процессов, оказывающих влияние на работу космической техники и на качество космических и ионосферных радиоканалов.

Полученная информация представляется на сайты Института и обсерваторий для использования другими институтами и организациями, работающими в области солнечно-земной физики.

На Норильской КМИС хранится в архиве непрерывный ряд данных с 1964 г. и в настоящее время продолжается круглосуточный круглогодичный мониторинг:

- вариаций МПЗ;
- абсолютных значений главных компонент МПЗ;

- инфразвуковых колебаний МП (геомагнитные пульсации);
- вариаций коэффициента поглощения космического радиошума в D-области ионосферы;
- вариаций потока нейтронов космических лучей на поверхности Земли.

Кроме того, проводятся вертикальное зондирование ионосферы (цифровой дигизонд DPS-4) с последующим расчетом профиля электронной концентрации.

В результате усилий по модернизации обсерватории в последние годы КМИС была оснащена современными средствами регистрации и первичной обработки данных наблюдений, и в настоящее время на Норильской КМИС функционирует следующий геофизический комплекс.

*Вариационные наблюдения* — функционируют две дублирующие магнитовариационные станции:

- цифровая трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-008;
- аналоговая станция «Кварц» на основе датчиков Боброва с выходом на ПК.

*Абсолютные измерения МПЗ*:

- оверхаузеровский протонный магнитометр POS-1 — полный вектор;
- феррозондовый деклинометр-инклинометр MAG-01Н THEO 015 В — регистрация наклонения и склонения ЭМПЗ.

*Наблюдения геомагнитных пульсаций*:

- трехкомпонентный индукционный магнитометр Lemi-30 (частотный диапазон 0–30 Гц).

Данные о МПЗ ежедневно передаются на сервер Института по интернет-каналам.

*Вертикальное зондирование ионосферы*:

- цифровой дигизонд DPS-4 (работает с 2002 г.). Основное назначение — регистрация ионограмм вертикального зондирования с последующим расчетом профиля электронной концентрации и следующих ионосферных характеристик:

- амплитуда (максимальное разрешение 3/4 дБ);
- фаза (максимальное разрешение 2 р/256 рад);
- задержка (максимальное разрешение 16.66 мкс);
- доплеровский сдвиг частоты (максимальное разрешение 0.024 Гц);
- вертикальный угол прихода;
- азимутальный угол прихода.

В 2015 г. ионозонд работал в штатном 15-минутном режиме без сбоев.

### *Наклонное зондирование ионосферы. ЛЧМ-установка*

В 2014 г. на радиофизическом комплексе ЛЧМ-установки (рис. 211) Норильской КМИС были проведены ремонтно-профилактические работы:

- ремонт передающей антенны типа «DLP-22» (замена порванных вибраторов, ревизия питающего кабеля и разъемов, ревизия крепления и оттяжек мачты);
- ремонт усилителя мощности «BLA-350» (замена выходных транзисторов, установка устройства защиты);
- установка и подключение нового устройства «DPS» синхронизации;
- установка приемно-регистрирующего комплекса для ЛЧМ-сигналов на наклонных трассах;
- монтаж и установка антенны для приема радиосигналов на наклонных трассах;
- ремонт приемных антенн комплекса «DPS-4».

В настоящее время эта установка работает в штатном режиме.

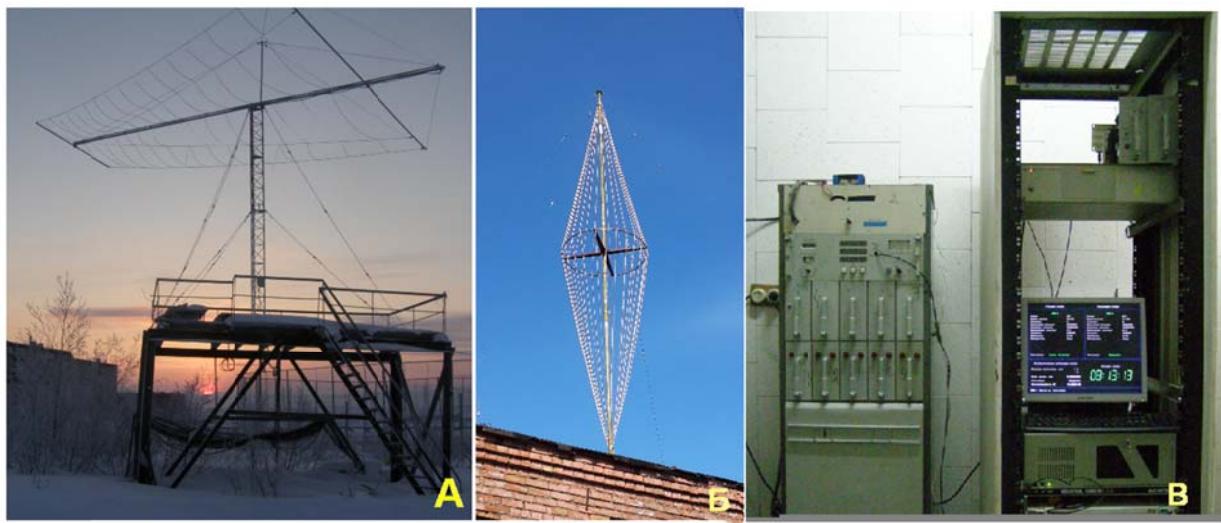


Рис. 211. Комплекс ЛЧМ-установки. А — передающая антенна ЛЧМ-сигналов DLP-22. Б — приемная антенна ЛЧМ. В — приемо-передающий комплекс ЛЧМ-сигналов.

В 2015 г. на НорКМИС проводились ремонтные и профилактические работы по обслуживанию аппаратуры всего геофизического комплекса.

На аппаратуре по регистрации геомагнитных пульсаций был заменен кабель между датчиками и регистрирующим блоком с целью уменьшения помех искусственного происхождения. Для оценки работоспособности отремонтированного комплекса были проведены тестовые испытания. Был выбран период магнитосферных возмущений, и был проведен анализ спектрального состава зарегистрированных пульсаций (рис. 212).

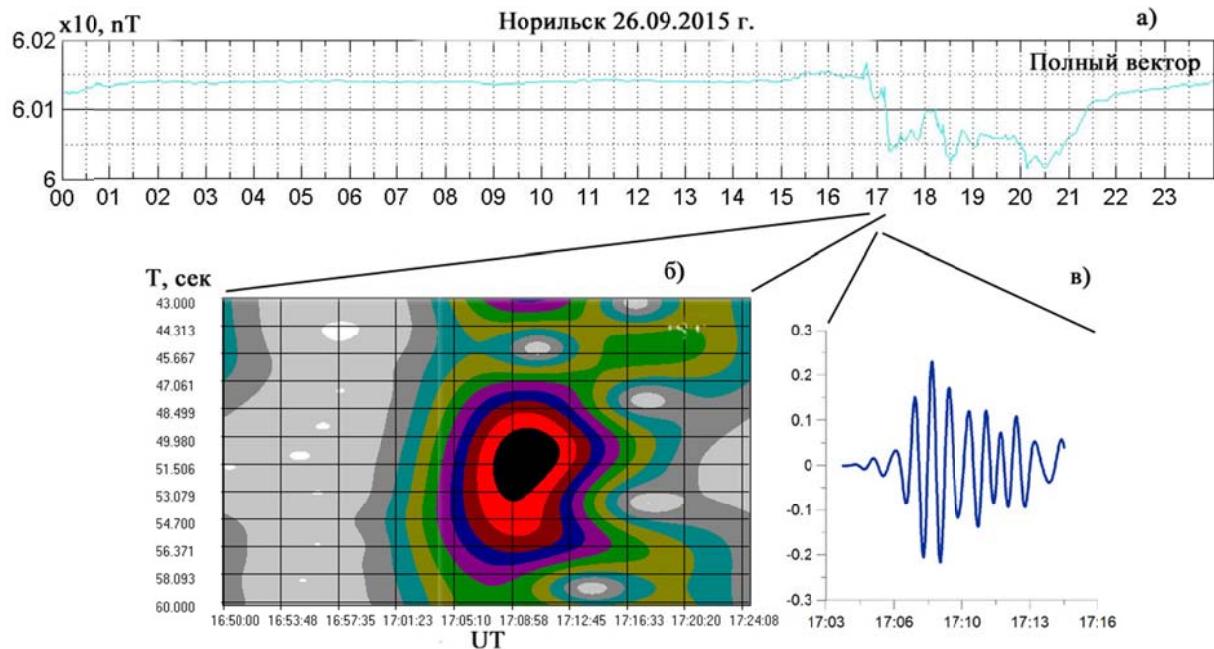


Рис. 212. Возбуждение геомагнитных пульсаций в период развития магнитной суббури 26.09.2015 г.: а — вариации полного вектора МПЗ на ст. «Норильск»; б — динамический спектр геомагнитных пульсаций Pi2 (ст. «Норильск»); в — аналоговая форма Pi2

Установленная на КМИС система спутникового интернета позволяет оперативно передавать данные наблюдений в Институт по системе удаленного доступа практически со всех инструментов, установленных на Норильской КМИС, с любой степенью скважности, вплоть до реального времени.

Данные ст. «Норильск» используются многими исследователями при изучении солнечно-земных связей, поскольку они доступны в реальном времени. Географически Норильск занимает важное место в сети приполярных станций (Апатиты, Норильск, Тикси, м. Шмидта, Inuvik, Nain, Pewanuk, Fort Smith), что делает его данные актуальными при исследовании магнитосферно-ионосферных взаимодействий, анизотропии солнечных и галактических КЛ методом кольца станций и методом глобальной съемки. Непрерывный мониторинг и представление данных в реальном времени позволяют использовать эту станцию для решения задач космической погоды (отслеживание алертных ситуаций с протонными событиями, мониторинг магнитосферных возмущений, оценка предвестников геомагнитных возмущений и т. п.).

Организации, с которыми ведутся совместные работы по анализу данных и развитию обсерваторских наблюдений:

- ИЗМИРАН, г. Троицк, — регистрация нейтронной компоненты космических лучей;
- Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, — геодинамический мониторинг с помощью GPS.
- Институт физики Земли, Геофизическая обсерватория «Борок», Ярославская обл., п. Борок;
- ААНИИ, г. Санкт-Петербург;
- СпбФИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург;
- ИДГ г. Москва;
- ИКФИА ЯНЦ СО РАН г. Якутск;
- ПГИ КНЦ РАН, г. Апатиты;
- ИКИР ДВНЦ СО РАН, п. Паратунка.

## 6.6. Геофизическая обсерватория



Геофизическая обсерватория (ГФО) расположена в пос. Торы (Республика Бурятия) на расстоянии 150 км от г. Иркутска ( $103^{\circ}$  E,  $51^{\circ} 42'$  N, площадь земельного участка 7 га). В обсерватории проводится мониторинг структуры и динамики верхней и средней атмосферы пассивными радиофизическими и оптическими методами. Экспериментальная база обсерватории включает в себя следующее оборудование:

- широкоугольная высокочувствительная фотокамера ФИЛИН-1Ц (фотокамера для исследования люминесцентного излучения неба) на базе ПЗС-матрицы, предназначенная для регистрации и исследования собственного излучения атмосферы, его пространственно-временных вариаций, естественных и искусственных космических объектов (метеоров, космических аппаратов), контроля прозрачности атмосферы и решения некоторых других задач;
- патрульный спектрометр САТИ-1М (макет) с низким спектральным разрешением, предназначенный для регистрации спектрального состава и пространственного распределения собственного излучения верхней атмосферы Земли. Основное назначение — исследование возмущений в основных эмиссионных линиях и полосах (OI 557.7 и OI 630.0 нм, NaI 589.0–589.6 нм и др.) при гелиогеофизических возмущениях различной природы. Позволяет получать двумерное изображение дуги небесной сферы в диапазоне длин волн 400–700 нм;
- спектрограф для измерения вращательной температуры нейтральной атмосферы на высотах 80–100 км и интенсивности излучения неба в спектральном диапазоне 820–870 нм;

- оптическая система с возможностью точного позиционирования в заданную точку неба, включающая в себя двухканальный фотометр и ПЗС-камеру с полем зрения  $\sim 11^\circ$  (опытная эксплуатация);
- солнечный фотометр CIMEL-CE-318;
- широкоугольная оптическая система KEO Sentinel, предназначенная для регистрации пространственной картины интенсивности эмиссии 630 нм (опытная эксплуатация);
- инфразвуковая станция (опытная эксплуатация);
- магнитовариационная станция (опытная эксплуатация);
- цифровое многоканальное приемное устройство, позволяющее работать в режимах ЛЧМ (вертикальное, наклонное, возвратно-наклонное зондирование) и фиксированных частот (доплеровские измерения). Набор антенно-фидерных устройств позволяет работать в КВ- и УКВ-диапазонах;
- доплеровский комплекс, состоящий из четырех антенн и многоканального приемника.

В 2015 г. в ГФО ИСЗФ СО РАН продолжались регулярные оптические наблюдения собственного свечения верхней атмосферы Земли в основных эмиссионных линиях атомарного кислорода 557.7 и 630 нм, в спектральных диапазонах 400–700 нм и 720–830 нм, а также измерения оптических, микрофизических характеристик аэрозоля и влагосодержания в атмосфере с помощью солнечного фотометра CIMEL-CE-318, входящего в систему AERONET (NASA). В ГФО ведется регулярный прием ЛЧМ-сигналов в мониторинговом режиме на наклонных трассах Магадан–Торы, Хабаровск–Торы, Норильск–Торы и Горьковская (С.Пб.) — Торы. Прием на наклонных трассах ведется в 15-минутном режиме. В периоды повышенной ионосферной активности режим менялся на 5-минутный. Непрерывно ведется прием ЛЧМ сигналов вертикального зондирования и псевдовертикального (с разносом 100 км). Прием на этих трассах ведется ежеминутно.

Для всех приборов существуют и регулярно пополняются банки данных. Кроме того, созданы и поддерживаются базы данных (БД) с возможностью просмотра на сайте [atmos.iszf.irk.ru](http://atmos.iszf.irk.ru) (доступ по паролю):

В 2015 г. все экспериментальные данные, полученные в ГФО, передавались в ИСЗФ СО РАН в режиме онлайн.

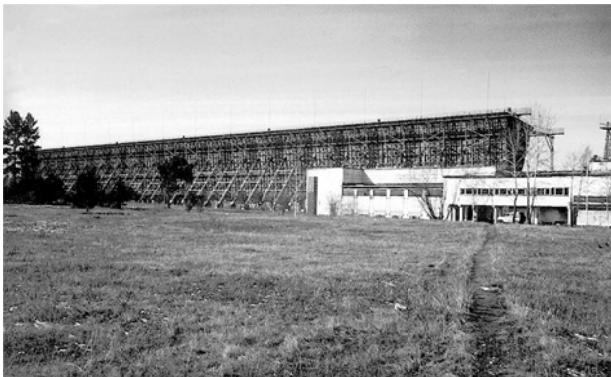
На основе данных, полученных с помощью комплекса оптических инструментов Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН во время сильной геомагнитной бури 17 марта 2015 г., проведено исследование спектрального состава и пространственного распределения интенсивности эмиссий верхней атмосферы Земли. Пространственно — временные возмущения, связанные с магнитной бурей 17 марта 2015 г., впервые наблюдались на большом числе приборов оптического комплекса ГФО с хорошим спектральным и пространственным разрешением.

Во время геомагнитной бури в течение порядка 5 часов наблюдается стабильное возмущение в виде дуги, ориентированной с запада на восток, со следующими размерами, рассчитанными для высоты  $\sim 400$  км: длина дуги не менее 1000 км (угловой размер  $145^\circ$  — все поле зрения оптической системы), ширина  $\sim 70$  км (угловой размер  $\sim 10^\circ$ ). Возмущение передвигается на юг со средней скоростью  $\sim 20$  м/с. Смещение возмущения по широте хорошо коррелирует с изменением индекса  $D_{st}$ . Скорость смещения и размеры наблюдаемого возмущения соответствуют параметрам SAR-дуг.

17 марта 2015 г. во время геомагнитной бури зарегистрированы эмиссии 520 нм (NI) и 586.8 нм (предположительно  $N_2$ ), не наблюдающиеся в излучении ночной среднеширотной атмосферы в невозмущенных условиях.

Интенсивность эмиссий, присутствующих и в излучении среднеширотной атмосферы в невозмущенных условиях, во время геомагнитной бури 17 марта 2015 г. увеличилась в среднем в 5 раз (в максимуме интенсивности в 10–12 раз) для эмиссии атомарного кислорода OI 557.7 нм и в 70 раз (в максимуме интенсивности в 300 раз) для эмиссии атомарного кислорода OI 630.0 нм.

## 6.7. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА)



Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА) ИСЗФ СО РАН расположена вблизи г. Усолье-Сибирское на территории одной из военных частей Министерства обороны РФ на удалении 125 км от г. Иркутска.

Задачами обсерватории являются проведение наблюдений на радиофизическом комплексе инструментов Института и обслуживание и модернизация оборудования, входящего в состав обсерватории.

Основные научные задачи обсерватории:

- регулярные наблюдения вариаций параметров ионосферы для различных времен суток, сезонов, уровней солнечной и геомагнитной активностей;
- наблюдение мощных когерентных отражений во время геомагнитных возмущений;
- наблюдение распространения волновых возмущений, приходящих из полярной области ионосферы;
- экспериментальные исследования распространения сложных ВЧ-сигналов с учетом дисперсионных искажений, рассеяния на неоднородностях и шероховатостях земной поверхности;
- наблюдение космических объектов.

Экспериментальная база ОРДА включает в себя ряд установок:

- Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) входит в перечень уникальных установок национальной значимости (рег. № 01-28);
- многопозиционный ЛЧМ-ионозонд с передающими пунктами, размещенными на территории ОРДА (вертикального, возвратно-наклонного и наклонного зондирования), Норильской КМИС ИСЗФ СО РАН, в с. Забайкальское Хабаровского края и в пос. Степольный Магаданской обл. (наклонного зондирования), и приемными пунктами в ГФО ИСЗФ СО РАН (пос. Торы, Республика Бурятия, пос. Арти, Свердловская область), а также на Норильской КМИС (г. Норильск, Красноярский край);
- доплеровский комплекс ИСЗФ СО РАН с приемными комплексами, размещенными в лабораторном корпусе Института, ГФО и КМИО.

С января по декабрь 2015 г. в обсерватории был проведен ряд измерений как в штатном, так и в экспериментальных режимах. Штатный режим подразумевает измерения, проводимые с целью получения параметров ионосферной плазмы, с использованием всех возможностей комплекса ИРНР (передающие и приемные устройства, накопление, обработка и хранение всего объема первичных данных). Помимо штатных наблюдений, в ОРДА проводился ряд экспериментов, предназначенных для отработки новых методик и модернизации аппаратуры:

- регистрация сигнала плазменной линии с дальнего (южного) терминала антенной системы;
- пассивный режим (фоновый риометр) с использованием нового широкополосного цифрового приемного устройства с улучшенным времененным разрешением;
- совместные с Саянской солнечной обсерваторией наблюдения за космическими объектами (КО) — эксперимент «Взаимодействие»;
- отладка, тестирование оборудования и накопление статистики в ходе работ по созданию системы синхронизации ИРНР–РЛК.

Все периоды работы радара приведены в табл. 21.

Таблица 21. Эксперименты, проведенные на УСУ «ИРНР» в период 01.2015–12.2015.

Период	Кол-во суток	Эксперимент
14–16 января	3	Испытания системы синхронизации, набор статистики
27 января–15 февраля	20	Штатные наблюдения НР + совместный эксперимент с ССО «Взаимодействие» (10–12 февраля)
20–21 февраля	2	Испытания системы синхронизации, набор статистики
12–14 марта	3	Испытания системы синхронизации, набор статистики
26–31 марта	6	Испытания системы синхронизации, набор статистики
1–14 апреля	14	Штатные наблюдения НР
15–20 апреля	6	Испытания системы синхронизации, набор статистики
1–17 июня	17	Штатные наблюдения НР + эксперимент по регистрации с дальнего конца плазменной линии (16–17 июня)
17 июня–2 июля	16	Пассивные наблюдения новым цифровым приемником (11 частот)
2–15 июля	14	Штатные наблюдения НР + эксперимент по регистрации с дальнего конца плазменной линии
24 июля	1	Испытания системы синхронизации, проверка работы нового ПО на РЛК
9–15 сентября	7	Испытания системы синхронизации, проверка работы нового ПО на РЛК
26–28 ноября		Предварительные испытания системы синхронизации
1–15 декабря		МВИ

Общее время наблюдений: в активном режиме — около 85 сут, в пассивном режиме — около 16 сут.

На протяжении 2015 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры ИРНР:

- в приемных устройствах (ВУП) южного терминала антенны реализована возможность независимой регистрации в двух каналах с двух полурупоров антенной системы;
- в ВУП ближнего (северного) терминала модернизированы управляемые ключи для защиты входных усилителей во время синхронной работы ИРНР с РЛК;
- для полноценного использования южного приемного терминала антенной системы, осуществлена прокладка ВЧ (2 шт.) и оптических (1 шт.) кабелей, это позволит в дальнейшем организовать связь с южной пристройкой (голос, данные) и производить регистрацию радиосигналов;
- в системе управления ИРНР усовершенствована работа с системой синхронизации от РЛК;
- для проведения испытаний системы синхронизации создан блок контроля и регистрации всех служебных сигналов синхронизации РЛК.

## Многопозиционный ЛЧМ-зонд ИСЗФ СО РАН

### *Передающий комплекс*

В период с 1 января 2015 г. по настоящее время на многопозиционном ЛЧМ-ионозонде «Ионозонд № 3» ОРДА (г. Усолье-Сибирское, 7) проводились непрерывные эксперименты по вертикальному и слабо наклонному зондированию ионосферы.

В течение всего 2015 г. передающий пункт «Ионозонд № 3» ОРДА круглосуточно вел излучение на слабонаклонной трассе Иркутск–Торы (режим мониторинга, мощность излучения 15 Вт).

В течение 2015 г. на передающих комплексах многопозиционного ЛЧМ-ионозонда были проведены следующие мероприятия:

#### *Норильская КМИС:*

Ремонт и замена блоков в ионозонде DPS-4;

Ремонт и восстановление системы охлаждения и пуска РПДУ «Кедр»;

Ремонт и настройка усилительных блоков «МО» РПДУ «Кедр».

#### *Магадан:*

Модернизация передающей антенны;

Ремонт системы управления и формирования сигналов;

Ремонт и замена двигателя системы охлаждения РПДУ «Кедр».

#### *ГФО «Торы»:*

Реконструкция передающей антенны «Моностат»;

Ревизия и ремонт двух приемных антенн;

Модернизация передающего пункта «Моностат»;

Модернизация системы сбора, обработки и передачи данных.

### *Приемный комплекс ЛЧМ-ионозонда*

В течение 2015 г. на приемном пункте ГФО «Торы» продолжался прием ЛЧМ-сигналов в мониторинговом режиме. Прием сигналов осуществлялся на наклонных трассах, входящих в институтскую сеть ЛЧМ-ионозондов, а также на трассах сторонних сетей.

Прием на наклонных трассах ведется с 15-минутным циклом, а в случаях специальных задач — в 5-минутном режиме.

Основными наклонными трассами являются трассы Магадан–Иркутск (Торы), Хабаровск–Иркутск (Торы), Норильск–Иркутск (Торы). Частотный диапазон зондирования для наклонных трасс составляет 4.0–301.0 МГц при скорости сканирования 500 кГц/с. Сведения о работе приемного комплекса многопозиционного ЛЧМ-ионозонда представлены в табл. 22.

Таблица 22. Сведения о работе приемного комплекса многопозиционного ЛЧМ-ионозонда

№	Трасса	Количество сеансов	Количество сбоев	Количество ионограмм	Примечания Коэффициент потерь, %
1	Магадан–Торы	86400	1054	85346	1.2
2	Хабаровск–Торы	86400	280	86128	0.3
3	Норильск–Торы	86400	6912	79488	8.0
4	Усолье–Торы	432000	2480	429520	0.57
5	МоностатВ3	432000	4260	427740	1

Зарегистрированная информация доступна для внешнего пользования по запросу на сайте Института <http://iszf.irk.ru>.

## Когерентные радары декаметрового диапазона

В целях развертывания дополнительной антенной решетки для проведения угломестных измерений на когерентном радаре декаметрового диапазона ЕКВ ИСЗФ СО РАН (обс. «Арти» Свердловской области) был проведена разметка территории и монтаж четырех дополнительных мачт для антенн (высотой 15 метров каждая).

На рис. 213 приведен общий вид установленных мачт. Весной 2016 г. планируется произвести монтаж логопериодических антенн на эти мачты.



Рис. 213. Общий вид установленных мачт интерференционной решетки

Для проведения специальных измерений на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН был установлен как часть приемного комплекса радара программируемый приемник QS1R, который допускает удаленное управление, что дает широкие возможности. Первым таким экспериментом было наблюдение за работой нагревного стенда EISCAT (Тромсё) во время нагревных сессий в октябре–ноябре 2015 г. (рис. 214).

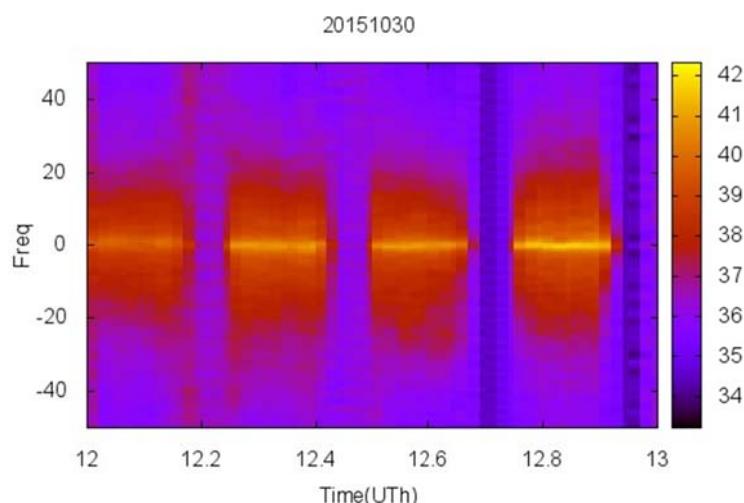


Рис. 214. Результат первой регистрации сигнала нагревного стенда EISCAT на приемном пункте «Арти» 30 октября 2015 г.

В целях развертывания нового когерентного радара декаметрового диапазона MAGW ИСЗФ СО РАН (обс. «Магадан» ИКИР ДВО РАН, пос. Стекольный Магаданской области) был проведена разметка, подготовка территории и монтаж антенной фазированной решетки (24 мачты высотой 16 м каждая, с логопериодической антенной на вершине, общий размер фазированной решетки — 250×120 м), тем самым предварительно подготовлена аппаратура радара тестовому к запуску. Тестовый запуск радара планируется в середине 2016 г., после получения санитарных разрешений и подводки линии электропитания к месту размещения радара. На рис. 215 приведена рабочая схема размещения антенн фазированной решетки.

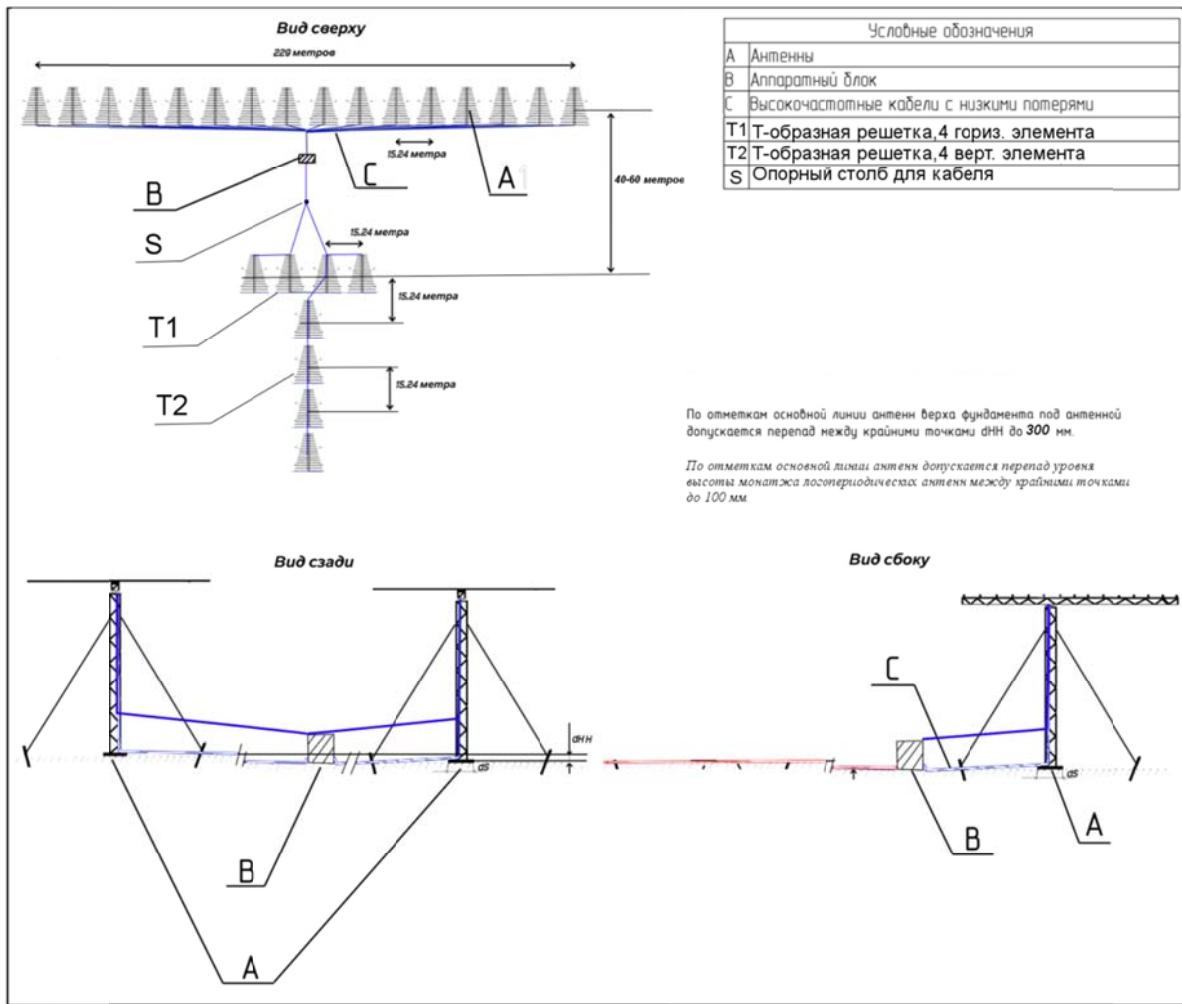


Рис. 216. Схема монтажа фазированной антенной решетки

На базе цифровых программных приемников WinRadio Excalibur создан программно-аппаратный комплекс для проведения риометрических измерений в полосе 0.1–50 МГц, с шагом по времени 10 с, и по частоте ~40 кГц. Ведется разработка быстроразвертываемых антенн собственного производства для совместного использования с приемником при организации риометрических наблюдений. На рис. 217 приведена спектрограмма за трое суток 20–22 июня 2015 г. по данным приемного риометрического комплекса, полученным во время его тестирования в Иркутске.

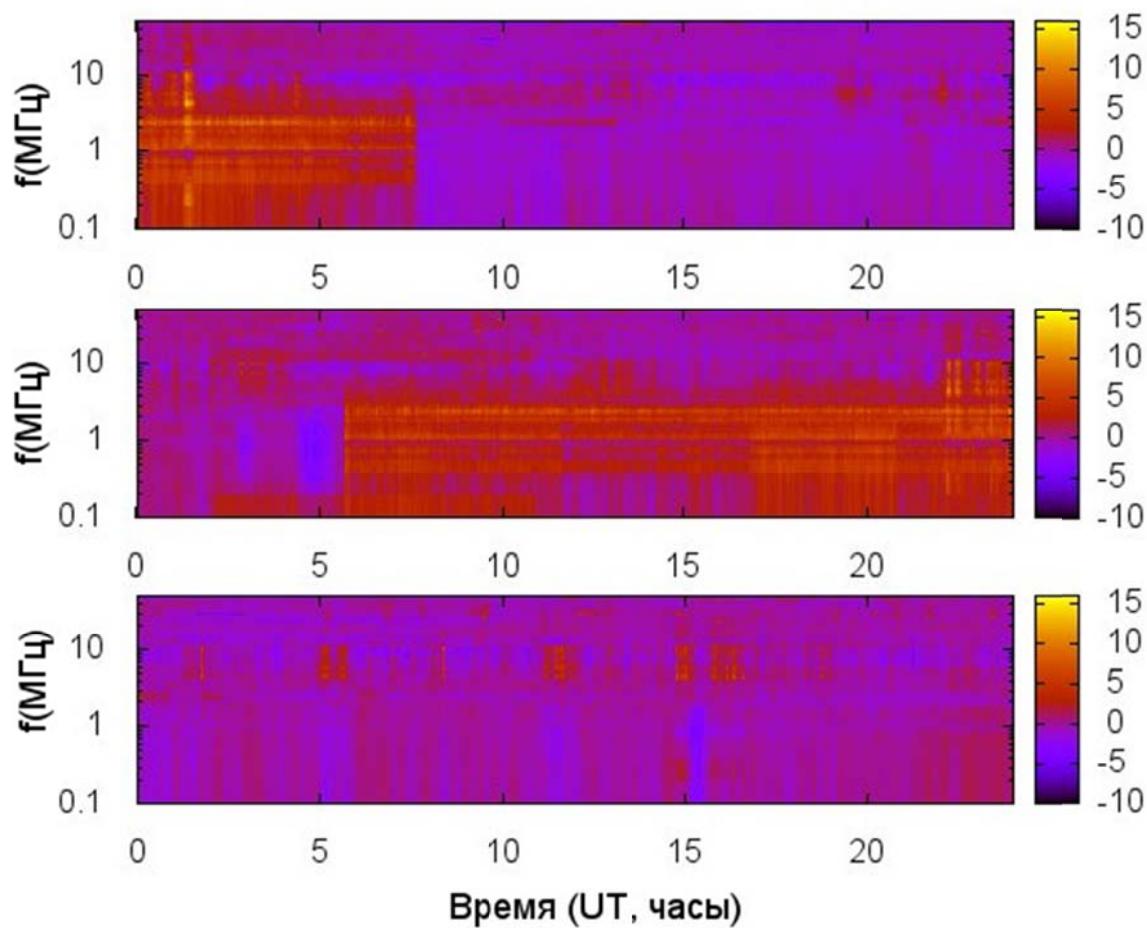


Рис. 217. Радиочастотный спектр 0.1–50 МГц 20–22 июня 2015 г. по данным приемного радиометрического комплекса, полученным во время тестирования в Иркутске

Штат постоянного обслуживающего персонала обсерватории составляет 26 человек. При выполнении специальных и текущих наблюдений, отладочных работ, обработке результатов работала группа научных сотрудников, аспирантов и инженеров 15–20 человек.

## 7. Научно-организационная деятельность

### 7.1. Общие сведения

В течение 2015 г. Институтом выполнялась научно-исследовательская работа по следующим основным научным направлениям: современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, включая физику Солнца, межпланетной среды, околоземного космического пространства, ионосферы и атмосферы; изучение солнечно-земных связей; развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики в соответствии с планом госзаданий на 2015 г. и согласно приоритетным направлениям Программы фундаментальных исследований государственных академий на 2013–2020 гг., утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 3 декабря 2012 г. № 2237-р:

1. Приоритетное направление II.12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.

1.1. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.12.2. Радиофизические методы исследования верхней атмосферы и ионосферы. Распространение радиоволн (координатор – чл.-корр. РАН А.П. Потехин).

Проекты:

1.1.1. II.12.2.1. Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства (рег. номер 01201281660, руководитель проекта – к.ф.-м.н. А.В. Медведев).

1.1.2. II.12.2.2. Распространение радиоволн различных диапазонов в ионосфере Земли (рег. номер 01201281659, руководитель проекта – чл.-корр. РАН А.П. Потехин).

1.1.3. II.12.2.3. Исследование динамических процессов в магнитосфере и высокоширотной ионосфере Земли методом обратного рассеяния радиоволн коротковолнового диапазона (рег. номер 01201281658, руководитель проекта – к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт).

2. Приоритетное направление II.16. Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач.

2.1. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.16.1. Фундаментальные проблемы процессов космической погоды, включая процессы на Солнце, в межпланетной среде, магнитосфере и атмосфере Земли. Контроль и экология околоземного космического пространства (координатор – акад. Г.А. Жеребцов).

Проекты:

2.1.1. II.16.1.1. Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат. Рег. номер 01201281657. Руководитель проекта — академик Г.А. Жеребцов.

2.1.2. II.16.1.2. Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера – ионосфера – магнитосфера Земли. Рег. номер 01201281656. Руководитель проекта – д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

2.1.3. II.16.1.3. Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве. Рег. номер 01201281655. Руководитель проекта – д.ф.-м.н. А.С. Леонович.

2.1.4. II.16.1.4. Исследование и мониторинг магнитосферно-ионосферных возмущений с использованием пространственно-разнесенных геофизических комплексов. Рег. номер 01201281654. Руководитель проекта – д.ф.-м.н. Р.А. Рахматулин.

2.1.5. II.16.1.5. Развитие оптических и радиофизических методов в области астероидно-кометной опасности, техногенного засорения и экологии космического пространства. Рег. номер 01201281653. Руководитель проекта – к.ф.-м.н. М.В. Еселеевич.

2.1.6. II.16.1.6. Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца. Рег. номер 01201281652. Руководитель проекта – Д.В. Просовецкий.

2.2. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.16.3. Физика Солнца и астрофизическое приборостроение (координатор – чл.-корр. РАН В.М. Григорьев).

Проекты:

2.2.1. II.16.3.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности. Рег. номер 0120281651. Руководитель проекта – д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов.

2.2.2. II.16.3.2. Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере. Рег. номер 01201281650. Руководители проекта – д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов, д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

2.2.3. II.16.3.3. Методы и инструменты астрофизического эксперимента. Рег. номер 01201281648. Руководитель проекта – д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой.

2.3. Программа фундаментальных исследований СО РАН II.16.2. Физика космических лучей и солнечно-земных связей (координатор – чл.-корр. РАН Е.Г. Бережко).

Проект:

2.3.1. II.16.2.4. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей. Рег. номер 01201281649. Руководитель проекта – к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

Институт работал по гранту Президента поддержки ведущих научных школ «Влияние солнечной активности на динамические процессы и долговременные тренды в нейтральной атмосфере, ионосфере и магнитосфере Земли»; научный руководитель – акад. Г.А. Жеребцов.

В Институте выполнялись работы по гранту Российского научного фонда № 14-37-00027 «Разработка научно-технических основ мониторинга атмосферно-ионосферно-магнитосферного взаимодействия в Арктической зоне с территорией Российской Федерации»; научный руководитель – д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

Также в Институте выполнялись работы по федеральным целевым программам.

2 проекта федеральной целевой программы «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008–2015 гг.»:

- «Разработка дополнительной аппаратуры для дооснащения действующих оптических и радиотелескопов с целью обеспечения их работы в режиме мониторинга гелиогеофизической обстановки»; научный руководитель – д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

- «Оперативная диагностика ионосферы с использованием действующих макетов когерентного КВ-радара и однопозиционного (моностатического) ЛЧМ-ионозонда; апробация полуэмпирической прогностической модели ионосферы»; научный руководитель – д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

В 2015 г. в Институте выполнялись работы по 33 грантам РФФИ:

1 грант на получение доступа к научным информационным ресурсам зарубежных издательств, 2 экспедиционных гранта, 1 грант по организации Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых в рамках школы и 29 инициативных грантов, из которых 9 грантов по отделу физики и астрономии и 20 грантов по отделу наук о Земле, включая 1 грант по конкурсу молодых ученых и 3 гранта по соглашению РФФИ с зарубежными научными организациями.

1. 13-02-00202-а «Исследование поршневой и взрывной ударных волн, связанных с возникновением и распространением выбросов корональной массы (ВКМ)»; научный руководитель – д.ф.-м.н. В.Г. Еселеевич.

2. 13-02-00044-а «Исследование процессов переноса энергии МГД-волнами в атмосфере Солнца»; научный руководитель – к.ф.-м.н. Р.А. Сыч.

3. 14-02-91157-М «Многоволновая диагностика динамических процессов на Солнце с использованием новых радиоастрономических инструментов»; научный руководитель – д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

4. 15-02-01089-а «Солнечные вспышки в микроволнах: от формирования токовых слоев до импульсной стадии»; научный руководитель – д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

5. 15-02-03717-а «Исследование процессов ускорения частиц в солнечных вспышках на основе уникальных наблюдений гамма-спектрометра «Конус-Винд» и Сибирского солнечного радиотелескопа»; научный руководитель – д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

6. 15-02-01077-а «Исследование возникновения и движения корональных выбросов массы и связанных с ними ударных волн по многоволновым данным»; научный руководитель – д.ф.-м.н. В.Г. Файнштейн.

7. 15-02-10036-а «Научный проект проведения комплексной экспедиции для наблюдений солнечной активности в радиодиапазоне»; научный руководитель – д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

8. 15-32-20504-а «Исследование трехмерной структуры атмосферы солнечных активных областей по результатам многоволновых наблюдений, моделирования и корональной сейсмологии»; научный руководитель – к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов.

9. 15-35-50309-а «Исследование атмосферы на БСВТ для получения изображений с высоким пространственным разрешением и разработки оптимального алгоритма управления адаптивной оптической системы»; научный руководитель – д.ф.-м.н. П.Г. Ковадло.

10. 15-32-51171-а «Локализация области ускорения электронов в солнечных вспышках на основе многоволновых наблюдений»; научный руководитель – д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

11. 13-05-00979-а «Развитие новых методов диагностики верхней атмосферы и ионосферы на базе комплекса уникальных инструментов ИСЗФ СО РАН»; научный руководитель – чл.-корр. РАН А.П. Потехин.

12. 13-05-00529-а «Волновое воздействие солнечного ветра на магнитосферу Земли»; научный руководитель – д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

13. 13-05-00733-а «Исследование физических процессов, контролирующих состояние ионосферы и термосферы средних широт во время геомагнитных бурь»; научный руководитель – к.ф.-м.н. А.С. Ташилин.

14. 13-05-00292-а «Исследование механизмов генерации межсуточных вариаций параметров»; научный руководитель – к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев.

15. 13-05-00456-а «Исследования геофизических и радиофизических эффектов работы бортового двигателя космического аппарата»; научный руководитель – к.ф.-м.н. В.В. Хахинов.

16. 13-05-00153-а «Исследование возмущений термодинамического режима мезосферы и термосферы в периоды действия зимних стратосферных потеплений»; научный руководитель – к.ф.-м.н. И.В. Медведева.

17. 14-05-00080-а «Теоретическое и численное исследование развития локализованных возмущений в устойчиво стратифицированных течениях без точек перегиба на профиле скорости»; научный руководитель – д.ф.-м.н. С.М. Чурилов.

18. 14-05-00578-а «Анализ реакции ионосферы на возмущения нейтральной атмосферы и магнитосферы на основе модели ГСМ ТИП и комплекса радиофизических инструментов ИСЗФ СО РАН»; научный руководитель – к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

19. 14-05-92002-М\_2013 «Исследование динамики среднеширотной ионосферы на основе радиозатменных измерений COSMIC/FORMOSAT-3, данных радара некогерентного рассеяния, ионозондов и магнитных измерений»; научный руководитель – к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

20. 14-05-00514-а «Исследование ионосферных неоднородностей средних масштабов, сопровождавших падение метеорита «Челябинск»; научный руководитель – к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

21. 14-05-91165-М «Электрические токи в магнитосфере и ионосфере и граница полярной шапки: сравнение результатов МГД-модели PPMRL и техники инверсии магнитограмм»; научный руководитель – д.ф.-м.н. В.В. Мишин.

22. 14-05-00259-а «Экспериментальное исследование возмущений в ионосфере над Азиатским регионом России»; научный руководитель – д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

23. 14-05-31177-мол\_а «Исследования электронной концентрации выше максимума ионизации на основе анализа длинных рядов данных, полученных на Иркутском радаре некогерентного рассеяния»; научный руководитель – С.С. Алсаткин.

24. 14-05-00588-а «Исследование взаимодействия между магнитосферой, ионосферой и атмосферой с помощью СуперДАРН»; научный руководитель – к.ф.-м.н. П.Н. Магер.

25. 14-45-04088-р\_сибирь\_а «Исследование пространственно-временной структуры неоднородностей электромагнитного поля Байкальской рифтовой зоны»; научный руководитель – д.ф.-м.н. Р.А. Рахматулин.

26. 14-00-10013\_ир «Получение доступа к научным информационным ресурсам зарубежных издательств на 2015 г.»; научный руководитель – к.ф.-м.н. И.И. Салахутдинова.

27. 15-05-05387-а «Развитие методов обработки данных Иркутского радара некогерентного рассеяния для исследования среднеширотной внешней ионосферы»; научный руководитель – акад. Г.А. Жеребцов.

28. 15-05-02313-а «Экспериментальное исследование условий распространения внутренних гравитационных волн в верхней атмосфере Земли по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния»; научный руководитель – д.ф.-м.н. А.В. Медведев.

29. 15-05-05561-а «Модель магнитосферных суббуров с новыми данными техники инверсии магнитограмм»; научный руководитель – д.ф.-м.н. В.В. Мишин.

30. 315-05-05227-а «Исследование механизмов генерации волновых возмущений в средней атмосфере и эффектов этих волн в ионосфере»; научный руководитель – М.А. Черниговская.

31. 15-05-03946-а «Исследование статистических и динамических характеристик мелкомасштабных неоднородностей ионосферы по данным экспериментального комплекса ИСЗФ СО РАН»; научный руководитель – к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.

32. 15-05-10110-а «Научный проект по проведению комплексной экспедиции по исследованию ионосферных возмущений в Азиатском регионе России»; научный руководитель – к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев.

33. 15-05-20697-а «Проект организации Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде» (БШФФ-2015)»; научный руководитель – акад. Г.А. Жеребцов.

Выполнялись:

• Работы по Мегапроекту – Создание Национального гелиогеофизического комплекса РАН; научный руководитель – акад. Г.А. Жеребцов.

• Прикладные работы по 16 темам в рамках ФЦП и хозяйственных договоров.

Общий объем бюджетного финансирования в 2015 г. составил 327 885 206,18 тыс. руб.

## 7.2. Деятельность Ученого совета

Состав Ученого совета Института был утвержден Постановлением Президиума СО РАН № 377 от 08.12.2010 г. с изменениями состава согласно постановлениям Президиума СО РАН № 62 от 10.02.2012 г. и № 78 от 01.03.2012 г. В составе совета 28 чел. Председателем Ученого совета является директор Института, чл.-корр. РАН А.П. Потехин.

В 2015 г. было проведено 10 заседаний Ученого совета, где заслушивались научные сообщения, рассматривались отчеты по научно-исследовательским работам, а также планы издательской и международной деятельности, проведения научных мероприятий и участия в них, утверждались темы докторских и кандидатских диссертаций, научные руководители, отчеты аспирантов и др.

Научные доклады и сообщения, представленные на Ученом совете:

1. Научный доклад «Электрическая связь двух полушарий системы магнитосфера – ионосфера Земли». Авторы: В.М. Мишин, Ю.А. Караваев, В.В. Мишин, С.Б. Лунюшкин, М.А. Курикалова.

2. Научный доклад «История вертикального зондирования в Институте». Автор: К.Г. Ратовский.

3. Научный доклад «Исследование перемещающихся ионосферных возмущений по данным КВ-радаров». Автор: А.В. Ойнац.

4. Научный доклад «Сеть ЛЧМ-зондирования ИСЗФ СО РАН». Автор: А.А. Подлесный.

## 7.3. Деятельность докторской комиссии

Докторская комиссия Д.003.034.01 создана при Институте солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск приказом Рособрнадзора Министерства образования и науки РФ от

02.11.2007 г. № 2249-1351, и его срок полномочий продлен приказом Рособрнадзора Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 г. № 105нк.

Председателем диссертационного совета является академик Жеребцов Г.А., ученым секретарем - к.ф.-м.н. Поляков В.И.

Диссертационному совету Д.003.034.01 разрешено принимать к защите диссертации по физико-математическим наукам по специальностям:

01.03.03 — физика Солнца;

01.04.03 — радиофизика;

25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.

В 2015 г. проведено 11 заседаний совета и защищено пять кандидатских диссертаций:

1. А.С. Полякова. «Исследование ионосферных возмущений, связанных с источниками в нижней нейтральной атмосфере, по данным GPS/ГЛОНАСС-радиозондирования» (специальность 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы).

2. Д.С. Хабитуев. «Определение параметров внешней ионосферы над Восточной Сибирью по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния и карт полного электронного содержания» (специальность 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы).

3. В.П. Лебедев. «Развитие диагностических возможностей Иркутского радара некогерентного рассеяния для решения задач контроля космических аппаратов и проведения активных космических экспериментов» (специальность 01.04.03 — радиофизика).

4. Д.С. Котова. «Исследование формирования лучевых траекторий и поглощения коротких радиоволн в ионосфере во время геомагнитных бурь» (специальность 01.04.03 — радиофизика).

5. Д.А. Чуйко. «МГД-волновод во внешней магнитосфере и механизмы его возбуждения» (специальность 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы).

#### **7.4. Международное сотрудничество**

В 2015 г. состоялось 35 выездов сотрудников ИСЗФ СО РАН в 11 стран мира. Сотрудники института приняли участие в 12 зарубежных научных мероприятиях (см. список зарубежных международных мероприятий), на которых представили 45 докладов; из них: 4 приглашенных, 25 устных и 16 стендовых докладов.

##### **Список сотрудников Института, выезжавших в заграничные командировки**

Страна	Сроки	Фамилия	Науч- ная работа	Зарубежное международное мероприятие, тип доклада
Бельгия	04.07–07.07	Демидов М.Л.	+	
	04.07–07.07	Колобов Д.Ю.	+	
	04.07–07.07	Чупраков А.С.	+	
Великобритания	01.02–31.03	Афанасьев А.Н.	+	1 приглашенный
	16.08–13.10	Кузнецов А.А.	+	1 приглашенный
	21.09–21.09.17	Анфиногентов С.А.	+	
Венгрия	24.05–28.05	Анфиногентов С.А.		1 приглашенный
Испания	16.05–23.05	Ясюкевич Ю.В.		2 устных
Китай	28.10–09.11	Демидов М.Л.	+	
	28.10–09.11	Киселев А.В.	+	
	09.08–03.11	Сыч Р.А.	+	1 приглашенный
Корея	02.11–08.11	Кашапова Л.К.		2 стендовых
	02.11–08.11	Кузнецов А.А.		1 устный
	02.11–08.11	Кичатинов Л.Л.		1 устный

Польша	10.06–10.07	Киселев В.И.	+	1 устный + 1 стендовый
	19.10–19.12	Дерес А.С.	+	
Соединенные Штаты Америки	28.01–27.02	Пипин В.В.	+	
	10.08–22.08	Кашапова Л.К.		1 устный
Таиланд	07.11–14.11	Ратовский К.Г.		1 устный
	07.11–14.11	Щербаков А.А.		1 стендовый
Франция	10.07–17.07	Ясюкевич Ю.В.	+	
Чешская Республика	18.06–18.07	Кочанов А.А.	+	1 устный
	21.06–03.07	Климушкин Д.Ю.		2 устных + 1 стендовый
	21.06–03.07	Медведева И.В.		2 устных + 1 стендовый
	21.06–03.07	Ратовский К.Г.		1 устный + 1 стендовый
	21.06–10.07	Черниговская М.А.		1 устный + 1 стендовый
	21.06–10.07	Шпынев Б.Г.		3 устных
	05.07–10.07	Андреева Е.С.		1 устный + 1 стендовый
	05.07–10.07	Кулижский А.В.		3 стендовых
	05.07–10.07	Куницын В.Е.		1 устный
	05.07–10.07	Ойнац А.В.		2 устных + 2 стендовых
	05.07–10.07	Полякова А.С.		1 устный + 1 стендовый
	05.07–10.07	Хабитуев Д.С.		1 устный
	05.07–10.07	Ясюкевич Ю.В.		2 устных + 1 стендовый
	20.08–04.10	Мешалкина Н.С.	+	

### **Загранкомандировки для совместной работы в рамках международных проектов**

С 28 января по 27 февраля с.н.с. д.ф.-м.н. Пипин В.В. был командирован в Университет Калифорнии, г. Лос-Анджелес, США. Поездка осуществлялась за счет принимающей стороны. Целью поездки было проведение совместной научно-технической работы по изучению природы крупномасштабного неосесимметричного поля Солнца. Время было посвящено разработке численной модели расчета эволюции неосесимметричного магнитного поля Солнца и адаптации программного кода для запуска в параллельном режиме на суперкомпьютерах НАСА Эймс.

С 1 февраля по 31 марта к.ф.-м.н. Афанасьев А.Н. был командирован в Университет Уорика, г. Ковентри, Великобритания для выполнения научно-исследовательских работ по программе ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. II.16.1.6. «Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца» и международному гранту 7-й рамочной программы Европейского Союза по международному обмену сотрудников научных учреждений (PIRSES-GA-2011-295272, “RADIOSUN”, Radiophysics of the Sun). Поездка осуществлялась полностью за счет Университета Уорика. Была продолжена работа над построением теоретической модели распространения квазипродольных волн в корональных магнитоплазменных структурах. Было получено волновое уравнение, описывающее распространение медленных магнитозвуковых волн в условиях тонкого волновода (трубочной моды) в присутствии гравитации и с учетом изменения с высотой магнитного поля в приближении тонкой трубки первого порядка, предложенном Робертсоном и Веббом и обобщенном Жугждой. Было выполнено приведение основополагающего волнового уравнения к виду уравнения Клейна–Гордона, а также проведен последующий анализ частоты отсечки медленных магнитозвуковых волн, распространяющихся в волноводных условиях корональных плазменных структур. В ходе выполнения задания получены профили периода отсечки, проанализирован вклад эффектов магнитной природы в изменение отсечки, готовится к публикации статья. Во время командировки Афанасьев А.Н. участвовал в конференции Warwick-Monash Meeting “Solar Atmospheric Magnetic Connectivity” с приглашенным докладом “Nonlinear effects in the shock-associated EUV wave propagation”.

С 10 июня по 10 июля аспирант Киселев В.И. был командирован в Университет им. М. Склодовской-Кюри (г. Люблин, Польша) для выполнения научно-исследовательских работ в рамках международного гранта 7-й рамочной программы Европейского Союза по международному обмену сотрудников научных учреждений (PIRSES-GA-2011-295272,

“RADIOSUN”, Radiophysics of the Sun). Было поставлена задача овладения PLUTO-кодом и получения его в свое пользование. PLUTO позволяет решать уравнения ГД и МГД и производить учет диссипативных эффектов. Визуализация модельных данных проводилась с помощью программы ViSIT. Во время командировки Киселев В.И. принимал участие в работе 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015 (22 июня – 2 июля 2015 г., г. Прага, Чешская Республика) с устным докладом “Relations between fluences of high-energy protons near Earth and microwave bursts” и стендовым докладом “The 26 December 2001 solar event responsible for Ground Level Enhancement-63”. Кроме того, Киселев В.И. участвовал в конференции и школе по моделированию процессов в космической плазме 12<sup>th</sup> International School/Symposium for Space Simulations (ISSS-12), которая проходила с 3 июля по 10 июля 2015 г. в г. Прага, Чешская Республика, со стендовым докладом “The 26 December 2001 solar eruptive event responsible for GLE63 and possible causes of its high proton productivity”.

С 18 июня по 18 июля к.ф.-м.н. Кочанов А.А. был командирован в обсерваторию Ондржеев (Чешская Республика) для выполнения совместных научно-исследовательских работ по базовому проекту II.16.1.6. «Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца». Было проведено изучение текущего состояния технологий и методов обработки данных телескопа ALMA, исследованы возможности системы хранения и форматы хранения данных. Полученные знания будут использоваться при анализе и обработке данных многоволнового гелиографа нового поколения CCPT, который создается в настоящий момент в ИСЗФ СО РАН. Во время командировки Кочанов А.А. принял участие в работе 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015 (22 июня – 2 июля 2015 г., г. Прага, Чешская Республика), где представил доклад “Long-term SSRT observations of quiet and active solar features at 5.7 GHz”.

С 10 по 17 июля 2015 г. с.н.с. к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В. находился в Парижском институте геофизики (г. Париж, Франция). Целью пребывания было обсуждение возможных совместных работ.

С 4 по 7 августа зам. директора д.ф.-м.н. Демидов М.Л., зав. лаб. к.ф.-м.н. Колобов Д.Ю. и с.н.с. Чупраков А.С. были командированы в г. Льеж, Бельгия (фирма AMOS). Цель поездки – участие в обсуждении хода выполнения работ по проектированию бельгийской фирмой AMOS субпроекта «Крупный солнечный телескоп-коронограф с диаметром зеркала 3 м» Укрупненного инвестиционного проекта «Национальный гелиофизический комплекс Российской академии наук». По результатам совещания ЛЗОС и AMOS был подписан протокол, в котором результаты второго этапа работ признаны выполненными. Для последующих этапов работ сотрудниками ИСЗФ СО РАН и AMOS были сформулированы вопросы, требующие дальнейшей проработки. Особенно остро стоит вопрос о выборе конструкции купола для КСТ-3, которая должна обеспечивать как дневные, так и ночные наблюдения.

С 9 августа по 3 октября зам. директора к.ф.-м.н. Сыч Р.А. был командирован в Юньнаньскую астрономическую обсерваторию КАН (г. Куньмин, КНР). Визит состоялся в рамках выполнения исследовательского проекта “Investigation of oscillatory, propagating, and quasi-stationary processes in solar atmosphere” и персонального гранта президента Китайской академии наук “CAS President’s International Fellowship Initiative. Grant No. 2015VMA014”. Проводились исследования, связанные с решением ряда научных задач в области гелиосейсмологии. Обнаружены различные моды колебаний в мелких петлях, находящихся в тени пятна. Впервые показано усиление колебаний перед UF, максимум которых совпадает с пиком яркости UF. Это подтверждает волновую природу исследуемых солнечных образований. Впервые найдено подтверждение существования глобальной низкочастотной компоненты (~13–15 мин) на уровне фотосферы, которая является модулятором 3-минутных колебаний на более высоких уровнях солнечной атмосферы.

С 16 августа по 13 октября зав. лаб. д.ф.-м.н. Кузнецов А.А. был командирован в университет Глазго (г. Глазго, Великобритания). Командировка была организована для совместной научно-исследовательской работы в рамках международного гранта 7-й ра-

мочной программы Европейского Союза по международному обмену сотрудников научных учреждений (PIRSSES-GA-2011-295272, "RADIOSUN", Radiophysics of the Sun). Были проведены исследования наблюдений солнечных радиовсплесков III типа по данным инструмента LOFAR. Была продолжена работа по исследованию многоволновых наблюдений солнечной вспышки 15 мая 2013 г. Обсуждались дальнейшие шаги по развитию инструмента для моделирования солнечного радиоизлучения GX-Simulator. Кроме этого, Кузнецов А.А. представил лекцию на Летней школе Европейского сообщества солнечных радиоастрономов (CESRA Radio Summer School 2015) в Университете Глазго и выступил с докладом на семинаре Центра термоядерного синтеза, космических исследований и астрофизики в Университете Уорика.

С 20 августа по 4 октября с.н.с. к.ф.-м.н. Мешалкина Н.С. была командирована в обсерваторию Ондржеев (Чешская Республика) для проведения работы в рамках международного гранта 7-й рамочной программы Европейского Союза по международному обмену сотрудников научных учреждений (PIRSSES-GA-2011-295272, "RADIOSUN", Radiophysics of the Sun). В ходе командировки обсуждались основные методы, применяемые в численном моделировании и вейвлет-анализе, с помощью которых вычисляются параметры радиоисточника и области, в которой генерируются магнитозвуковые волны. Было отобрано вспышечное событие 4 августа 2011 г. с квазипериодическими колебаниями и субсекундными импульсами. В дальнейшем планируется по радиоизображениям изучить пространственную и временную динамику колебаний по петле. Кроме того, были проанализированы пространственные и спектральные особенности квазипериодических импульсов в лимбовой вспышке 18 августа 2012 г. с использованием новых данных комплекса спектральных инструментов и радиогелиографа, разработанных командой ССРТ, и инструмента Konus-Wind (спектрометр гамма-лучей). Был проведен семинар на тему "Sources of quasi-periodic pulses in the 2012 August 18 flare" для солнечной группы обсерватории Ондржеев.

С 21 сентября 2015 г. по 21 сентября 2017 г. н.с. Анфиногентов С.А. командирован в Университет Уорика (г. Ковентри, Великобритания) для выполнения совместных научно-исследовательских работ по гранту ERC-AG «МГД волновая диагностика солнечной атмосферы» и реализации проекта II.16.3.2 «Нестационарные волновые процессы в солнечной атмосфере».

С 19 октября по 19 декабря аспирантка Дерес А.С. командирована в Университет им. М. Склодовской-Кюри (г. Люблин, Польша) для выполнения научно-исследовательских работ в рамках международного гранта 7-й рамочной программы Европейского Союза по международному обмену сотрудников научных учреждений (PIRSSES-GA-2011-295272, "RADIOSUN", Radiophysics of the Sun).

С 28 октября по 9 ноября зам. директора д.ф.-м.н. Демидов М.Л. и инженер Киселев А.В. находились в Китае (Солнечная наблюдательная станция Хуайроу (HSOS)) для проведения совместных работ в рамках российско-китайского гранта РФФИ ГФЕН 15-52-53125 ГФЕН\_a «Эволюция магнитного поля на Солнце и его спиральности в 22-летнем цикле: систематические долговременные наблюдения и теоретические модели» (руководитель – Кузанян К.М., ИЗМИРАН, г. Москва). Был выполнен значительный объем экспериментальных работ на телескопах HSOS, особенно детально исследованы инструментальные проблемы телескопа SMAT, выявлены присущие ему серьезные проблемы и рекомендованы меры по их устранению с целью улучшения качества получаемых магнитограмм. На примере нескольких дней наблюдений показано, что реализация предложенных мероприятий значительно улучшает совпадение данных SMAT с данными других инструментов, в частности, с HMI/SDO. Результаты выполненных исследований были доложены Демидовым М.Л. на семинаре сотрудников солнечного отдела НАОС и вызвали большой резонанс.

## Международные проекты

Проект в рамках межакадемических соглашений о научном сотрудничестве между РАН и АН Болгарии в области фундаментальных космических исследований «Исследование оптических проявлений в средней и верхней атмосфере Земли магнитосферно-атмосферных явлений при гелиогеофизических возмущениях на основе наземных и спутниковых наблюдений». Координаторы — д-р Пенка Влайкова Стоева, Институт космических исследований и технологий, БАН; зав. лаб. д.ф.-м.н. Михалев А.В., ИСЗФ СО РАН. Сроки 2014–2015 гг.

В 2015 г. в рамках проекта были выполнены следующие работы.

1. Продолжались регулярные наблюдения собственного излучения верхней атмосферы Земли в основных эмиссионных линиях атомарного кислорода [OI] 557.7 и 630.0 нм, дуплета натрия [NaI] 589.0–589.6 нм с помощью патрульного спектрометра САТИ-1М с низким спектральным разрешением и интегрального излучения в R-G-B цветовых каналах с помощью цветной камеры ФИЛИН-1Ц. Выполнялся предварительный анализ и сопоставление данных наземных наблюдений свечения верхней атмосферы со спутниковыми данными атмосферных, ионосферных и магнитосферных параметров.

2. Проведено исследование среднеширотных сияний по данным наблюдений в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. Выполнен анализ фотометрических и спектральных характеристик среднеширотных сияний, наблюдавшихся в регионе Восточной Сибири, во время магнитных бурь 27 февраля 2014 и 17 марта 2015 г. В результате анализа данных наблюдений выявлено нетипичное для среднеширотных сияний поведение интенсивности эмиссии [OI] 630 нм во время главной фазы магнитной бури 17 марта 2015 г.: резкие всплески интенсивности излучения, превышающие среднее значение спокойной атмосферы до 10 раз, с длительностями, характерными для суббуревой активности; отсутствие зависимости интенсивности эмиссии [OI] 630 нм от  $D_{st}$  индекса в течение ночи.

3. Были продолжены исследования оптических эффектов падения Челябинского метеорита: исследовалось поведение собственного излучения верхней атмосферы в основных эмиссионных линиях атомарного кислорода [OI] 557.7 и 630 нм, дуплета натрия NaI 589.0–589.6 нм. Характер некоторых отмеченных особенностей вариаций эмиссий OI 557.7 нм и натрия NaI 589.0–589.6 нм в анализируемый период не исключает их возможной связи с падением Челябинского метеорита 15 февраля 2013 г. и требует дополнительных исследований.

Международный грант 7-й рамочной программы Европейского Союза по международному обмену сотрудников научных учреждений (PIRSSES-GA-2011-295272, “RadioSun”, Radiophysics of the Sun). Координатор программы — проф. Накаряков В.М., Университет Уорика (г. Ковентри, Великобритания); координатор от ИСЗФ СО РАН — зам. директора к.ф.-м.н. Р.А. Сыч. Сроки: июнь 2012 г. – июнь 2016 г.

В осуществлении проекта принимают участие две российских и пять зарубежных научных организаций. Членами коллектива ИСЗФ СО РАН по проекту RADIOSUN в 2015 г. получены следующие результаты.

1. На основе анализа динамики 3-минутных волн, идущих от солнечного пятна, обнаружена корреляция между усилением мощности колебаний и инициацией солнечной вспышки в области, связанной с пятном магнитным каналом.

2. Сделан обзор проведенных в последнее время экспериментальных и теоретических исследований источников колебаний и волн в атмосфере солнечных пятен. Представлены результаты наблюдений на наземных и космических инструментах. Показана важная роль механизма частотного обрезания в формировании пространственного распределения узкополосных источников колебаний в атмосфере пятен. Обсуждаются альтернативные методы исследования структуры магнитного поля с использованием полученных гелиосейсмологических результатов. Дано краткое описание теоретической модели на основе подфотосферного низкочастотного резонатора.

3. Сделана оценка высоты формирования над пятном спектральных полос 1700, 1600, 304,171 и 193 Å на основе анализа 3-минутных колебаний, наблюдавшихся телескопом AIA/SDO. Методика основана на задержке распространения волны от одного излучающего слоя к другому в предположении, что волна распространяется со скоростью звука. Проведено сравнение полученных результатов с двумя различными моделями атмосферы Солнца над пятнами.

4. Получено волновое уравнение для медленных магнитозвуковых волн в магнитоплазменной трубке, которое приведено к виду уравнения Клена–Гордона с переменными коэффициентами, описывающего эффект отсечки волн в солнечной короне. Обнаружено, что период отсечки изменяется с высотой, значительно уменьшаясь в плазме с параметром  $\beta \ll 1$  или  $\beta \sim 1$ .

5. Получено эволюционное уравнение типа уравнения Бюргерса для медленных магнитозвуковых волн в нестратифицированных магнитоплазменных трубках.

6. Проведено изучение корреляции между параметрами микроволновых всплесков, наблюдавшихся на 35 ГГц, и протонными солнечными событиями. Обнаружено, что вероятность увеличения числа обнаруживаемых протонных событий напрямую зависит от потока в пике временного профиля, продолжительности и плотности потока на 35 ГГц, в то время как роль синдрома большой вспышки могла быть переоценена ранее.

7. Предложен новый сценарий эруптивной вспышки, выброса корональной массы и эволюции ударной волны на основе многоволновых наблюдений двух событий с выбросом волокна (24 февраля и 11 мая 2011 г.).

8. Проведено исследование проявления «сосисочной» моды МГД-колебаний в гиросинхротронном радиоизлучении вспышечной петли с помощью моделирования на примере полукруглой магнитной петли. Показано, что интенсивность колебаний для всех частот синхронна для низкой плотности плазмы. Для петли с высокой плотностью излучение на низких частотах колеблется в антифазе с высокими частотами. Колебания круговой поляризации находятся в фазе с колебаниями интенсивности, а степень поляризации колеблется в фазе с магнитным полем.

Инициативный научный проект РФФИ — Национальный научный комитет в Тайбэй (Тайвань) (конкурс «ННС\_а» 2014) 14-05-92002 «Исследование динамики среднеширотной ионосферы на основе радиозатменных измерений COSMIC/FORMOSAT-3, данных радара некогерентного рассеяния, ионозондов и магнитных измерений». Координаторы — в.н.с. к.ф.-м.н. Ратовский К.Г., ИСЗФ СО РАН; адъюнкт-профессор Чарльз Лин, Национальный университет Чэн Кун, Тайвань. Сроки 2014–2016 гг.

В рамках проекта в 2015 г. продолжен сравнительный анализ различных методов получения ионосферного профиля электронной концентрации.

1. Сравнение максимума электронной концентрации не выявило систематических расхождений между инструментами. Среднеквадратичное отклонение между данными радара и спутника COSMIC/FORMOSAT-3 составляет  $\sim 0.8 \cdot 10^5$  см<sup>-3</sup>, что в  $\sim 1.5$  раза меньше по сравнению с ошибкой прогноза модели IRI и в  $\sim 2$  раза больше по сравнению с результатами, полученными при низкой солнечной активности.

2. Сравнение электронного содержания в нижней части ионосферы выявило, что данные COSMIC/FORMOSAT-3 завышают данные радара в среднем на 0.2 TECU, что близко ранее полученным результатам. Среднеквадратичное отклонение составляет 0.9 TECU, что в  $\sim 1.5$  раза меньше по сравнению с ошибкой прогноза модели IRI и в  $\sim 1.5$  раза больше по сравнению с результатами, полученными при низкой солнечной активности.

3. Сравнение электронного содержания в верхней части ионосферы выявило, что данные COSMIC/FORMOSAT-3 завышают данные радара в среднем на 1 TECU, что близко ранее полученным результатам. Среднеквадратичное отклонение составляет 1.3 TECU, что в  $\sim 2.5$  раза меньше по сравнению с ошибкой прогноза модели IRI и в  $\sim 1.5$  раза больше по сравнению с результатами, полученными при низкой солнечной активности. Результаты, полученные для условий умеренной солнечной активности, показали: (1) систематическое расхождение между данными радара и спутника COSMIC/FORMOSAT-3

слабо зависит от уровня солнечной активности; (2) среднеквадратичное отклонение между данными инструментов возрастает с уровнем солнечной активности; (3) в отличие от условий низкой солнечной активности расхождение между инструментами в электронном содержании верхней части ионосферы меньше, чем расхождение данных COSMIC/FORMOSAT-3 и модели IRI. Проведено исследование магнитосферно-ионосферного взаимодействия на низких широтах во время очень сильной геомагнитной бури 14–16 декабря 2006 г. В результате проведенных исследований сделан вывод, что прямая ионизация во внешней ионосфере квазизахваченными энергетическими электронами может давать существенный вклад в формирование положительных фаз ионосферных бурь, дляющихся более 24 часов от начальной и основной фазы до фазы восстановления. Проанализирована возможность определения момента первичного контакта неоднородности солнечного ветра с магнитопаузой путем сравнения данных регистрации с высоким временным разрешением вариаций геомагнитного поля во время внезапного начала (SC) наземными и спутниковыми магнитометрами.

РФФИ 14-02-91157 ГФЕН\_а «Многоволновая диагностика динамических процессов на Солнце с использованием новых радиоастрономических инструментов». Координаторы: зам. директора д.ф.-м.н. Алтынцев А.Т. (ИСЗФ СО РАН), адъюнкт-профессор Баолин Тан (НАО КАН). Сроки 2014–2015 гг.

В 2015 г. были получены следующие основные научные результаты: 1) Продолжена модернизация Сибирского Солнечного Радиотелескопа. Были установлены широкополосные антенны нового многоволнового радиогелиографа и соответствующее приемное оборудование. Разработана и протестирована система коррекции наведения антенн. Получены изображения солнечных вспышек с помощью многоволнового радиогелиографа. 2) Проведено моделирование гироинхротронного микроволнового излучения осциллирующих магнитных петель в солнечной короне; впервые использована трехмерная модель МГД-волн (типа сосисочных мод). Показано, как МГД-колебания влияют на интенсивность и поляризацию излучения; получены соотношения между характеристиками колебаний на разных частотах. Полученные результаты могут быть использованы для идентификации моды МГД-колебаний по многоволновым наблюдениям с пространственным разрешением. 3) Проведено моделирование радиоизлучения магнитных жгутов и волокон в солнечной короне. Процесс формирования магнитных жгутов моделировался с помощью реалистичной МГД-модели. Показано, что магнитные жгуты в активных областях могут генерировать интенсивное излучение в микроволновом диапазоне за счет гирорезонансного механизма; данный эффект может быть ответственен за формирование микроволновых источников наднейтральными линиями. 4) На основании наблюдений в микроволновом и ультрафиолетовом излучении обнаружена связь между усилением волновой активности в солнечных пятнах и возникновением вспышек. В частности, значительное повышение мощности 2–4-минутных колебаний наблюдается за 20–30 мин. до начала вспышечного энерговыделения; источники колебаний совпадают с основаниями магнитных арок. Установлено, что МГД-волны из пятен могут выступать в качестве триггера вспышек. 5) На основе многоволновых данных (микроволновое, рентгеновское и ультрафиолетовое излучение, магнитограммы) были исследованы особенности ряда солнечных вспышек. Рассматривались такие аспекты, как квазипериодические колебания, тонкие спектральные структуры и поведение ускоренных частиц. Построены качественные сценарии вспышек, получены оценки различных физических параметров в источниках излучения.

РФФИ 14-05-91165 ГФЕН\_а «Электрические токи в магнитосфере и ионосфере и граница полярной шапки: сравнение результатов МГД-модели PPMRL и техники инверсии магнитограмм». Координаторы — в.н.с. д.ф.-м.н. Мишин В.В. (ИСЗФ СО РАН), директор Государственной лаборатории по космической погоде проф. Ван Чи (НЦКИ КАН). Сроки 2014–2015 гг.

Членами коллектива ИСЗФ СО РАН в 2015 г. получены следующие результаты.

1. Получены новые результаты по явлению (эффекту) насыщения магнитосферы во время супербуль, состоящему в резком замедлении роста скорости переноса магнитного потока  $\Psi$  и потока электромагнитной энергии (потока Пойнтинга  $S$ ) в магнитосферу и ионосферу полярной шапки из солнечного ветра. Исследования проведены численно на глобальной МГД-модели магнитосферы китайскими партнерами и методом техники инверсии магнитограмм (ТИМ) наземных обсерваторий. Сравнительный анализ полученных зависимостей показал: а) известный эффект насыщения потоков  $\Psi$  и  $S$  в зависимости от южной компоненты ММП по данным ТИМ хорошо виден как для устойчивых событий, так и во время супербуль, а по данным глобальной МГД модели – только во время супербуль; б) найденный ранее в ИСЗФ эффект насыщения потоков  $\Psi$  и  $S$  в зависимости от динамического давления  $P_d$  изучен для супербуль 30.11.2003 методом ТИМ и глобальной МГД-модели, а также показаны хорошее качественное совпадение зависимостей этих потоков от давления  $P_d$  и тот факт, что в ионосферу переносится примерно половина потока Пойнтинга, вносимого через дневную магнитопаузу; в) известный из наблюдений эффект насыщения сжатия магнитосферы при усилении  $P_d$  солнечного ветра и южного ММП был проанализирован аналитически в ИСЗФ и численно китайскими партнерами. Показано, что оба метода дают качественно совпадающие зависимости радиуса подсолнечной точки магнитопаузы  $r_{mp}$  от  $P_d$  с замедлением его уменьшения при больших значениях  $P_d$ , характерных для супербуль. Эти зависимости также совпадают с таковыми известной эмпирической модели Shue et al., 1997, 1998.

2. Изучено влияние южной компоненты ММП на положение дневной магнитопаузы. Показано, что глобальная модель дает эффект насыщения только для условий супербуль, но не для устойчивых условий. Результаты качественно совпадают с гипотезой сжатия магнитосферы из-за уменьшения геомагнитного поля внутри магнитопаузы вследствие диффузионного проникновения южного ММП [Ковнер и др., 1973]. 3) Проверка эмпирической модели [Shue et al., 1997, 1998] показала, что она дает правильную зависимость  $r_{mp}(B_z)$  только для значений  $-20 \text{ нТл} < B_z < 20 \text{ нТл}$ . Из полученных в проекте результатов следует, что известный сайт NASA (<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>), использующий цитированную модель, дает неверные значения положения дневной магнитопаузы и головной ударной волны при больших значениях вертикальной компоненты ММП ( $|B_z| > 20 \text{ нТл}$ ).

### **Объединенный Российско-Китайский научный центр по космической погоде**

Объединенный Российско-Китайский научный центр по космической погоде (ОНЦ-КП) был создан в 2000 г. Институтом солнечно-земной физики СО РАН и Центром космической науки и прикладных исследований КАН (с 2010 г. — Национальный центр космических исследований КАН).

В рамках работы Центра проводились совместные исследования по проектам РФФИ 14-02-91157 ГФЕН\_а и РФФИ 14-05-91165 ГФЕН\_а. Состоялись обменные визиты сотрудниками ИСЗФ СО РАН, Юньнаньской астрономической обсерватории КАН и НАО КАН.

Во время визита в Юньнаньскую астрономическую обсерваторию КАН (г. Куньмин, Китай) был подготовлен проект соглашения о научном сотрудничестве в области астрофизики и солнечно-земной физики между ИСЗФ СО РАН и Юньнаньской астрономической обсерваторией КАН. Подписание соглашения намечено на 2016 г. с последующим автоматическим продлением через каждые два года.

### **Визиты зарубежных ученых в ИСЗФ СО РАН**

С 18 по 22 апреля в рамках ознакомительного визита в ИНЦ СО РАН Институт посетила делегация Исследовательского центра по астрономии и геофизике МАН с целью интенсификации научного взаимодействия между ИСЗФ СО РАН и ИЦАГ МАН. Руково-

дитель делегации — директор ИЦАГ МАГ Содномсамбуу Дэмбэрэл. Кроме того, в состав делегации входил Жугдэрдэмиийн Гуррагча, первый монгольский космонавт.

№	Фамилии, имена	Должность
1	С. Дэмбэрэл	директор
2	Ж. Гуррагча	космонавт
3	Ч. Баярсайхан	зам. директора по общим вопросам
4	Ж. Онон	бухгалтер
5	Б. Уянга	бухгалтер
6	М. Мөнгөнцэцэг	бухгалтер
7	Ц. Буяндуурэн	зав. хозяйственной частью
8	Х. Өлзийсайхан	адм. работник
9	Н. Болортuya	секретарь Ж. Гуррагча
10	Ч. Батмөнх	водитель Ж. Гуррагча
11	Ц. Батсайхан	зав. лаб. сейсмологии
12	Н. Тунгалааг	зав. отдела астрометрии
13	Ж. Баяраа	зав. лаб. сейсмологии
14	Э. Баярсайхан	научный сотрудник отдела сейсмологии
15	Л. Тунгалааг	научный сотрудник отдела сейсмологии
16	Г. Төгөлдер	научный сотрудник отдела сейсмологии
17	Т. Баяраа	научный сотрудник отдела астрометрии
18	Б. Цэгмид	научный сотрудник отдела геомагнетизма
19	С. Ганцогт	научный сотрудник отдела геомагнетизма
20	Т. Насан-Очир	научный сотрудник отдела геомагнетизма
21	Ч. Мөнхжаргал	научный сотрудник отдела астрофизики
22	Б. Батбаяр	научный сотрудник отдела астрофизики
23	Б. Отгонсүрэн	научный сотрудник отдела астрофизики
24	Г. Галбадрах	зав. сейсмостанцией
25	Д. Хосбүргэд	зав. сейсмостанцией
26	Н. Ичинноров	зав. сейсмостанцией
27	Д. Мягмар	зав. сейсмостанцией
28	Р. Пүрэвдорж	зав. сейсмостанцией
29	Р. Ундармаа	зав. сейсмостанцией
30	Д. Цэрмаа	зав. сейсмостанцией
31	Б. Нямдорж	зав. сейсмостанцией
32	Л. Бат-Өлзий	зав. сейсмостанцией
33	П. Даваадалай	зав. сейсмостанцией
34	С. Загсүрэн	зав. сейсмостанцией
35	Д. Чулуунбат	зав. сейсмостанцией

С 2 по 30 июня научный сотрудник Хана Месзаросова из Астрономического института Академии наук Чешской Республики посетила ИСЗФ СО РАН для проведения совместных научно-исследовательских работ в рамках международного гранта 7-й рамочной программы Европейского Союза по международному обмену сотрудников научных учреждений (PIRSSES-GA-2011-295272, "RADIOSUN", Radiophysics of the Sun). За время пребывания в Институте Хана Месзаросова выступила с докладом и лекцией для студентов на четвертом международном рабочем совещании по проекту RadioSun "MHD Waves in Space Plasma: Theory, Methods and Observations", а также на семинаре отдела радиоастрофизики. Совместно с сотрудниками отдела Хана Месзаросова выполнила научные исследования, направленные на изучение динамики пространственной структуры во вспышке 18 августа 2012 г. с использованием разработанных ей программ-фильтров изображений, полученных

со спутника SDO. Обсуждалась новая работа по исследованию события 10 сентября 2014 г. на основе данных SDO на разных длинах волн. Планируется исследование динамики вспышечных структур, температуры, меры эмиссии и других параметров вспышечной плазмы в ходе солнечного события.

С 3 июня по 25 июля Институт посетили аспиранты Университета им. Марии Склодовской-Кюри (г. Люблин, Польша) Блажей Кузьма и Даниэль Кац. Цель визита – проведение совместных научно-исследовательских работ в рамках международного гранта 7-й рамочной программы Европейского Союза по международному обмену сотрудников научных учреждений (PIRES-GA-2011-295272, “RADIOSUN”, Radiophysics of the Sun). За время пребывания в ИСЗФ СО РАН Б. Кузьма и Д. Кац выступили с докладами на четвертом международном рабочем совещании по проекту RadioSun “MHD Waves in Space Plasma: Theory, Methods and Observations” и участвовали в летней школе для молодых ученых и студентов. Кроме того, аспиранты ознакомились с работой Радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (ур. Бадары, респ. Бурятия). Совместно с сотрудниками отдела радиофизики ИСЗФ СО РАН Б. Кузьма выполнял теоретические исследования распространения МГД-возмущений в трехмерных конфигурациях магнитного поля, содержащих нулевую точку, а Д. Кац провел обсуждение влияния конвективной неустойчивости на формирование корональных джетов.

С 8 по 12 июня прошли заседания четвертого международного рабочего совещания по проекту RadioSun “MHD Waves in Space Plasma: Theory, Methods and Observations”. В работе заседания приняли участие 28 зарубежных специалистов из 8 научных организаций. Совещание проводилось в рамках проекта MC IRSES Network “Radiophysics of the Sun”, осуществляемого при поддержке 7-й рамочной программы Европейского Союза по международному обмену сотрудников научных учреждений (PIRES-GA-2011-295272, “RADIOSUN”, Radiophysics of the Sun).

№	Фамилия, имена	Организация	Должность	Дата рождения	Срок пребывания
1	Kuźma Błażej (Кузьма Блажей)	Университет им. Марии Склодовской-Кюри, Польша	докторант	16.05.1989	03.06–25.07
2	Kac Daniel Edward (Кац Даниэль Эдвард)	Университет им. Марии Склодовской-Кюри, Польша	аспирант	17.08.1990	03.06–25.07
3	Guevara Gómez Juan Camilo (Гевара Гомез Хуан Камило)	Национальный университет Колумбии, Колумбия	студент	03.11.1992	08.06–12.06
4	Utz Dominik (Уц Доминик)	Институт физики Грацского университета имени Карла и Франца, Австрия	старший научный сотрудник	24.08.1981	07.06–18.06
5	Xu Long (Сюй Лун)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	профессор	20.03.1977	06.06–15.06
6	Dong Liang (Дун Лян)	Обсерватория Юньнань КАН, Китай	инженер	03.09.1982	06.06–13.06
7	Lin Jun (Линь Цзюнь)	Обсерватория Юньнань КАН, Китай	научный сотрудник	02.04.1964	06.06–13.06
8	Wang Min (Ван Минь)	Обсерватория Юньнань КАН, Китай	научный сотрудник	18.03.1966	06.06–13.06
9	Yan Yihua (Янь Ихуа)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	профессор	04.04.1962	06.06–15.06
10	Zhang Yuheng (Чжан Юйхен)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	научный сотрудник	02.01.1986	06.06–15.06
11	Liu Donghao (Лиу Дунхайо)	Национальные астрономические обсерватории КАН,	инженер	17.01.1979	06.06–15.06

		Китай			
12	Wang Wei (Ван Вэй)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	старший инженер	19.09.1979	06.06–15.06
13	Geng Lihong (Гэн Лихун)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	старший инженер	10.07.1967	06.06–15.06
14	Nisticò Giuseppe (Нистико Джузеппе)	Университет Уорика, Великобритания	научный сотрудник	27.08.1984	07.06–14.06
15	Yu Sijie (Юй Сыцзе)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	научный сотрудник	03.12.1988	06.06–15.06
16	Kotrč Pavel (Котрч Павел)	Астрономический институт АН ЧР, Чехия	старший научный сотрудник	13.01.1948	07.06–14.06
17	Skokić Ivica (Скокич Ивица)	Астрономический институт АН ЧР, Чехия	младший научный сотрудник	03.11.1976	07.06–14.06
18	Gao Guannan (Гао Гуаньнань)	Обсерватория Юньнань КАН, Китай	младший научный сотрудник	25.03.1982	06.06–13.06
19	Goddard Christopher Rhys (Годдард Кристофер Рис)	Университет Уорика, Великобритания	аспирант	10.06.1992	07.06–14.06
20	Bárta Miroslav (Барта Мирослав)	Астрономический институт АН ЧР, Чехия	научный сотрудник	17.07.1973	07.06–18.06
21	Su Cang (Су Цан)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	научный сотрудник	19.02.1987	06.06–15.06
22	Du Jing (Ду Цзин)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	научный сотрудник	15.01.1988	06.06–15.06
23	Pascoe David James (Пэскоу Дэвид Джеймс)	Университет Уорика, Великобритания	научный сотрудник	09.05.1982	07.06–13.06
24	Tan Baolin (Тань Баолинь)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	доцент	25.04.1966	06.06–15.06
25	Guo Shaojie (Го Шаоцзе)	Обсерватория Юньнань КАН, Китай	младший научный сотрудник	20.01.1987	06.06–13.06
26	Mészárosová Hana (Месзаросова Гана)	Астрономический институт АН ЧР, Чехия	научный сотрудник	12.12.1959	02.06–30.06
27	Yuan Ding (Юань Дин)	Левенский католический университет, Бельгия	постдокторант	13.07.1985	09.06–12.06
28	Liu Fei (Лиу Фэй)	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	старший инженер	01.06.1979	06.06–15.06

С 9 июля по 15 июля Институт посетили научный сотрудник Национального университета Чень-Кунь (г. Тайнань, Тайвань) Кришнанунни Раджеш Панхалингал (Krishnanunni Rajesh Panthalingal), научные сотрудники Национального центрального университета (г. Таоюань, Тайвань) А.В. Дмитриев (Alexei Dmitriev) и А.В. Суворова (Alla Suvorova). Цель визита – проведение совместных работ в рамках российско-тайваньского исследовательского проекта NSC103-2923-M-006-002-MY3/14-05-92002 ННС\_а «Исследование динамики среднеширотной ионосферы на основе радиозатменных измерений COSMIC/FORMOSAT-3, данных радара некогерентного рассеяния, ионозондов и магнитных измерений». В рамках визита была осуществлена поездка на Байкальскую магнитнотеллурическую обсерваторию ИСЗФ СО РАН (п. Узур). На совещании участников проекта Кришнанунни Раджеш Панхалингал изложил планы совершенствования методики по восстановлению профиля электронной концентрации с использованием данных радио-

затменных измерений COSMIC/FORMOSAT-3. Кроме того, было выработано два направления дальнейших работ по проекту. Первое связано с анализом экваториального расширения овала высыпаний во время экстремальных геомагнитных бурь, второе — с анализом ионосферных и магнитных данных во время периодов экстремально слабого солнечного ветра. Осуществлен обмен данными радиозатменных измерений COSMIC/FORMOSAT-3, данными Иркутского радара некогерентного рассеяния и Иркутского ионозонда. Сформирован план работы по совместному проекту на 2015–2016 гг.

С 26 августа по 3 сентября профессор Национального центрального университета (г. Таоюань, Тайвань) Чээвэй Чан (Лорен) и его аспиранты Чиу И-Чун и Дуань И посетили Институт для проведения совместных работ в рамках российско-тайваньского исследовательского проекта NSC103-2923-M-006-002-MY3/14-05-92002 ННС\_а «Исследование динамики среднеширотной ионосферы на основе радиозатменных измерений COSMIC/FORMOSAT-3, данных радара некогерентного рассеяния, ионозондов и магнитных измерений». На семинаре участников проекта и сотрудников ИСЗФ СО РАН, Чээвэй Чан (Лорен) сделал обзорный доклад, посвященный исследованиям атмосферно-ионосферного взаимодействия сотрудниками Национального центрального университета. Также были обсуждены планы совместных работ по исследованиям атмосферно-ионосферного взаимодействия. В рамках визита были осуществлены поездки в Байкальскую астрофизическую обсерваторию (п. Листвянка) с посещением Большого солнечного вакуумного телескопа и Геофизическую обсерваторию (п. Торы) с детальным ознакомлением с работой оптических инструментов.

Для участия в работе Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и XIV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» в качестве приглашенного докладчика в Институт с 13 по 18 сентября прибыл профессор Технологического института Вирджинии Джон Майкл Руохониеми (John Michael Ruohoniemi).

15 сентября Институт посетила китайская делегация из Пекинской научно-технической компании «Кэдунь Хуаньюй» в составе трех человек: Линь Хуа (Lin Hua) — ген. директор компании, Чжоу Мэнлун (Zhou Menglong) — инженер компании, Лю Шучжэ (Liu Shuzhe) — переводчик. Цель визита — обсуждение вопроса будущего научно-технического сотрудничества.

23 ноября Институт посетил Генеральный консул Республики Корея в г. Иркутске г-н Пак Чон Нам. В рамках визита обсуждались вопросы научно-технического сотрудничества, а также состоялась экскурсия в Байкальскую астрофизическую обсерваторию.

### **Участие сотрудников ИСЗФ СО РАН в работе международных организаций**

Название международной организации	Фамилии
Международный астрономический союз (International Astronomical Union, IAU)	В.М. Григорьев, А.Т. Алтынцев, В.В. Гречнев, Р.Б. Теплицкая, Г.Я. Смольков, Л.Л. Кичатинов, Д.Ю. Колобов, В.В. Пипин, М.Л. Демидов, Р.А. Сыч
Международная общественная организация «Астрономическое общество» (Eurasian Astronomical Society, EAAS)	Б.В. Агалаков, В.В. Гречнев, В.М. Григорьев, С.А. Григорьева, Л.В. Ермакова, М.Л. Демидов, Л.К. Ка- шапова, Н.И. Кобанов, Г.И. Кушталь, В.П. Максимов, А.В. Мордвинов, В.В. Пипин, Л.А. Плюснина, Г.Я. Смольков, Р.А. Сыч, Р.Б. Теплицкая, В.М. Томозов, В.Г. Файнштейн, Н.М. Фирстова, А.И.

	Хлыстова, С.А. Язев
Европейское астрономическое сообщество (European Astronomical Society, EAS)	Л.К. Кашапова
Сообщество европейских солнечных радиоастрономов (Community of European Solar Radio Astronomers – CESRA)	Г.Я. Смольков, А.Т. Алтынцев, В.В. Гречнев, А.А. Кузнецов
Комитет по космическим исследованиям (Committee on Space Research, COSPAR)	Г.А. Жеребцов, А.П. Потехин, В.И. Куркин, А.В. Ташилин, А.С. Потапов, Р.А. Рахматулин, В.В. Мишин, Р.А. Сыч
Национальный представитель Международного научного совета по солнечно-земной физике (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP)	Г.А. Жеребцов
Представитель научной дисциплины в Международном совете по солнечно-земной физике (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP)	А.П. Потехин, Р.А. Сыч
Национальный представитель в Объединенной организации солнеч- ных наблюдений (Joint Organization for Solar Observations, JOSO)	Г.Я. Смольков, Р.А. Сыч, А.А. Головко
Национальный координатор программы Международная инициатива Космическая погода (International Space Weather Initiative, ISWI)	Г.А. Жеребцов
Азиатско-тихоокеанское сообщество наук о Земле (Asia Oceania Geosciences Society, AOGS)	А.В. Ойнац
Взаимодействие, энергетика и динамика областей атмосферы (Coupling, Energetics and Dynamics of Atmospheric Regions, CEDAR)	В.В. Мишин, А.В. Ташилин
Европейский союз наук о Земле (European Geoscience Union)	Д.Ю. Климушкин
Американская ассоциация содействия развитию науки (American Association for Advancement of Science, AAAS)	А.А. Головко
Общество оптики и фотоники (Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, SPIE)	В.И. Скоморовский
Международная общественная организация «Оптическое общество им. Д.С. Рождественского» (The Optical society named after D.S. Rozhdestvensky)	В.И. Скоморовский
Международный экспертный комитет по строительству Бразильско- го дециметрового радиотелескопа (International Advisory Committee of Brazilian Decimetric Array, BDA)	Р.А. Сыч
Международный экспертный комитет по строительству Китайского солнечного радиогелиографа (Mingantu Ultrawide Spectral Radioheliograph, MUSER)	Р.А. Сыч

## Международные награды

9 мая 2015 г. в рамках встречи в Москве лидеров Китайской Народной Республики Си Цзиньпина и Российской Федерации В.В. Путина советник РАН академик Г.А. Жеребцов был награжден правительственной наградой КНР — орденом Дружбы Китайской Народной Республики. Эта награда обусловлена большим вкладом Гелия Александровича в российско-китайское сотрудничество в области солнечно-земной физики и создания современной инструментальной базы для наблюдений Солнца и околоземного космического пространства.

## 7.5. Издательская деятельность

В 2015 г. вышли в свет первые четыре номера журнала «Солнечно-земная физика», созданного как продолжение одноименного сборника научных трудов. Журнал выпускается под грифом издательства «Инфра-М». Он вошел в международную реферативную базу данных Astrophysics Data System и Перечень ВАК.

Главным редактором журнала является научный руководитель Института, академик Жеребцов Г.А.

Согласно плану выпуска самостоятельных изданий под грифом Издательства СО РАН были изданы:

1. Сборник «Солнечно-земная физика», вып. 25.
2. Коллективная монография «Институт солнечно-земной физики: создание и развитие.

Согласно плану Института по проведению конференций в 2015 г. были изданы:

1. Тезисы (в печатном виде) и Труды (CD-диски) Байкальской международной молодежной научной школы по фундаментальной физике и в рамках нее XIV Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом».

2. Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Вып. 8. Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона».

3. The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School: Abstracts.

Согласно плану работы диссертационного совета Д.003.034.01 Института были изданы авторефераты диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук:

1. Чуйко Даниил Александрович. МГД-волновод во внешней магнитосфере и механизмы его возбуждения.
2. Лебедев В.П. Развитие диагностических возможностей Иркутского радара некогерентного рассеяния для решения задач контроля космических аппаратов и проведения активных космических экспериментов.
3. Мячин Д.Ю. Структура и развитие внепланетных солнечных вспышек.

## 7.6. Работа библиотеки

В 2015 г. в электронный каталог «Публикации сотрудников Института» внесено 592 новых записи (всего в каталоге отражено 15629 публикаций), а в БД «Электронные книги» прибавилось еще 57 новых книг.

За отчетный год по запросам сотрудников скачано 283 статьи, выполнено 26 заказов по МБА из удаленных источников (библиотеки других городов) для наших сотрудников и сотрудников других институтов, отсканировано по просьбам сотрудников 23 статьи и 2 книги.

Закончено внесение в электронный каталог содержания основного массива журналов «Геомагнетизм и аэрономия» и «Астрономический журнал», в данное время заносится содержание новых поступающих экземпляров. С 2014 г. идет внесение содержания журнала «Письма в Астрономический журнал», на сегодняшний день сотрудникам доступно содержание журнала за 2011–2015 гг.

Наполняемость электронной библиотеки Института на конец ноября достигла 77.0 ГБ (77806 файлов статей).

Ежеквартально обновляются сведения о новых поступлениях в Единый электронный каталог UNIT, объединяющий каталоги всех библиотек ИНЦ и включенный в перечень электронных ресурсов библиотеки ИСЗФ.

В отчетный период на базе созданного в 2014 г. полноценного сайта библиотеки проведена настройка интернет-версии ИРБИС. Пользователи электронной библиотеки активно используют предоставленную возможность просмотра электронных каталогов библиотеки ИСЗФ и Объединенного каталога библиотек ИНЦ.

По причине прекращения централизованного комплектования библиотеки, за 2015 г. фонд пополнялся только книгами, полученными в дар от сотрудников (авторов) и различных профильных организаций. За весь год удалось купить только 5 экземпляров книги по заказу.

Отечественная периодика поступала по подписке в объеме предыдущих лет. Иностранные журналы в отчетном году получали только в электронном виде. Доступ к элек-

тронным научным информационным ресурсам зарубежных издательств Elsevier, Springer, American Physical Society, Cambridge University Press осуществлялся на основе грантов РФФИ по контрактам с консорциумом НЭИКОН и объединением «Академинторг». Дополнительно через консорциум НЭИКОН осуществлялся бесплатный доступ к ресурсам SPIE (International Society of Optical Engineering).

Проведены 3 тематические выставки: «Академик Вернадский В.И. – учитель, мыслитель, гражданин» к Дню науки; «Художественные работы сотрудников Института» к 8 марта, «Мир великого поэта» к 216-летию со дня рождения Пушкина А.С. Выполнено 8 крупных справок по запросам руководства Института: публикационная активность сотрудников, сведения к составлению дорожной карты, материалы к аттестации докторской и кандидатской советов Института и другие.

### **7.7. Работа с вузами**

Институт сотрудничает с ИГУ (ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет»), ИрГТУ (ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»), Байкальским экономическим университетом, Иркутским институтом железнодорожного транспорта, Иркутским педагогическим университетом, Иркутским филиалом Института гражданской авиации, Поволжским государственным технологическим университетом, Московским физико-техническим институтом МГУ и др.

В рамках соглашения о научно-техническом и образовательном сотрудничестве между Институтом солнечно-земной физики СО РАН и Бурятским государственным университетом (БГУ) на физическом факультете БГУ организована кафедра физики космоса (зав. кафедрой — акад. Г.А. Жеребцов). Ведущие ученые Института вахтовым методом читают на кафедре лекции, руководят дипломными и курсовыми работами, проводят лабораторные работы со студентами.

Созданы три совместных структуры с вузами Иркутска:

1. Базовая кафедра радиоэлектроники и телекоммуникационных систем (ИСЗФ СО РАН и ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», соглашение о сотрудничестве от 20 июля 2010 г., договор о сотрудничестве от 22 ноября 2011 г.);

2. Совместная научно-исследовательская лаборатория «Плазменная радиофизика» (ИСЗФ СО РАН и ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», соглашение о сотрудничестве от 20 июля 2010 г., договор о сотрудничестве от 30 ноября 2011 г.);

3. Базовая кафедра ИСЗФ СО РАН — кафедра общей и космической физики ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет» (Приказ по ФГБОУ ВПО ИГУ № 88 от 02.05.2012 г., протокол Ученого совета ФГБОУ ВПО ИГУ № 10 от 27.04.2012 г.).

Активно используется инструментальная база Института. В обсерваториях ежегодно проходят практику студенты ИГУ, ИрГТУ, БГУ, проводится популяризаторская деятельность. В 2015 г. для школьников и взрослого населения было проведено множество экскурсий: в Байкальской астрофизической обсерватории (п. Листвянка) — 16, в Саянской солнечной обсерватории (п. Монды) — 20, в Радиоастрофизической обсерватории (ур. Бадары) — 6.

Ученые Института совмещают свою научную деятельность с преподавательской работой в вузах. Преподавание ведут 52 сотрудника.

В 2015 г. 20 студентов вузов выполнили в Институте курсовые и дипломные работы.

### **7.8. Работа Научно-образовательного центра**

Научно-образовательный центр (НОЦ) ИСЗФ СО РАН создан в 2008 г. Основной задачей НОЦ является организация педагогической работы и деятельности по популяризации науки сотрудниками Института с целью привлечения молодых перспективных научных кадров. Организационная структура НОЦ включает заведующего, секретаря и науч-

ных сотрудников Института, привлекаемых к работе НОЦ. Научные сотрудники привлекаются для ведения учебных курсов, чтения научных и научно-популярных лекций, руководства учебной и производственной практикой студентов, руководства научно-исследовательской работой школьников, проведения экскурсий.

В феврале 2015 г. в рамках празднования дней науки в ИСЗФ силами НОЦ была проведена викторина по астрономии и физике между командами лицеев ИГУ и Шелехова. По окончании для участников викторины и болельщиков была прочитана научно-популярная лекция «Солнце–звезда».

Большое место в работе НОЦ занимает работа со школьниками. В 2015 г. 9 научных сотрудников и специалистов занимались индивидуальной научно-исследовательской работой с 9 школьниками Шелеховского лицея. Также для школьников города в ИСЗФ проводится Иркутская астрономическая школа, преследующая такие цели, как подготовка к астрономическим олимпиадам, повышение уровня научной грамотности учащихся, развитие их интереса к естествознанию.

Традиционными для НОЦ стали организация и проведение учебной практики для учащихся лицея-интерната №1, знакомящей школьников с профессиональной деятельностью Института. Было задействовано 8 научных сотрудников Института.

10 апреля 2015 г. в рамках НОЦ при активной поддержке ИГУ и Министерства образования Иркутской области была проведена V Научно-практическая конференция школьников «Человек и космос». Она проводится с целью развития у школьников интереса к астрономии и исследованиям космического пространства, формирования стремления заниматься научной работой, ознакомления учащихся и педагогов с новейшими результатами исследований в данных областях науки. К организации конференции, а также к научному руководству школьниками в рамках конференции были привлечены 26 научных сотрудников Института. В конференции приняли участие 42 школьника, представляющие около 30 школ Иркутской области. С каждым годом наблюдается повышение уровня научных работ школьников. Для участников и слушателей конференции была прочитана лекция «Человечество в космосе».

Неотъемлемой частью деятельности НОЦ является работа со студентами физического факультета ИГУ. Сотрудничество с кафедрой общей и космической физики и кафедрой радиофизики включает в себя чтение дополнительных спецкурсов, руководство курсовыми и дипломными работами. В 2015 г. ведущие ученые Института прочитали курсы лекций по физике Солнца, плазмы, ионосферы и магнитосферы. С целью ознакомления студентов с современными методами исследования околоземного космического пространства были проведены курсы лекций по экспериментальным методам радиофизической диагностики, радиофизическим исследованиям ионосферы, спутниковым системам связи. Были проведены демонстрации оборудования ИСЗФ, такого как высокочастотный радар SuperDARN, ионозонд вертикального зондирования Digisonde DPS-4 и др. Для студентов младших курсов еженедельно проводится учебно-научный семинар «Теория колебаний», который позволяет студентам сформировать понимание процессов, влияющих на состояние атмосферы.

Важную роль в работе НОЦ играет чтение лекций по тематике основных направлений исследований Института, что способствует поднятию уровня подготовки аспирантов и молодых специалистов Института. В 2015 г. ведущими лекторами НОЦ прочитан курс лекций «Солнечно-земная физика», состоящий из 6 разделов:

- Элементы физики плазмы;
- Солнце – звезда;
- Солнечная атмосфера;
- Солнечный ветер;
- Нейтральная атмосфера, ионосфера и плазмосфера;
- Магнитосфера.

Совместно с областной библиотекой им. Молчанова-Сибирского в рамках лектория «Земля и Вселенная» с февраля по апрель 2015 г. была прочитана серия научно-популярных лекций:

- Солнечная система: новый взгляд;
- Рождение науки: астрономы древнего Вавилона и древней Греции;
- Солнце и космическая погода.

## 7.9. Работа музея ИСЗФ СО РАН

Музей ИСЗФ СО РАН создан в 2010 г. в год 50-летия Института с целью сохранения исторических архивов Института, научно-просветительской и учебно-образовательной деятельности.

К настоящему времени создана большая экспозиция, включающая более 350 единиц хранения.

В 2015 г. музей пополнил свою коллекцию. Был собран альбом «Благодарная память твоя, СиБИЗМИР» к 70-летию Победы в Великой Отечественной войне. Комплект фотографий на армированном пенокартоне был изготовлен котовыставке «100-лет Н.М. Ерофееву». У нас появились подборки слайдов для показа на мониторах центра отображения информации в зале музея. В процессе подготовки к 100-летию Н.М. Ерофеева – директора ИСЗФ в 60-е и 70-е гг. прошлого столетия – был собран альбом воспоминаний о его жизни, научной и организаторской деятельности. С помощью родственников сотрудников Института Елены Кокоуровой, Маргариты Райхбаум, Елены Ерофеевой, Екатерины Куклиной был собран редкий фотодокументальный материал.

В течение года проводилась работа с архивными материалами, в результате чего пополнились материалы для книги ветеранов. Продолжена работа по созданию новых альбомов, реставрации старых, поиску фотоматериалов и созданию постеров о ветеранах Института, проработавших 50 и более лет. Эта работа ведется совместно с Советом научной молодежи и профкомом Института.

По традиции в выставочном зале музея в День науки была открыта выставка: «СиБИЗМИР — это молодость наша. СиБИЗМИР — это наша судьба».

В апрельской конференции школьников «Человек и космос» музей принимал активное участие: школьники побывали в выставочном зале и получили на память фото.

В зале музея была организована выставка «Все еще впереди». Она прошла после пресс-конференции по Мегапроекту «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук».

В июле 2015 г. отметил 90-летие крупный ученый геофизик Вилен Моисеевич Мишин, заслуженный деятель науки РФ. Был собран альбом и проведена стендовая выставка к его юбилею. В музее побывали его родственники.

В апреле 2015 г. зале музея прошло первое занятие по профориентации для 11-го класса школы № 80 и несколько экскурсий с участием выпускника этой школы крупного ученого, главного научного сотрудника Института Геннадия Яковлевича Смолькова. С января по май 2015 г. в зале музея проводились занятия со студентами в режиме Skype (преподаватели А.Г. Обухов и Б.Б. Криссинель) с использованием инструментов и приборов, хранящихся в музее.

В течение года в музее было проведено 12 экскурсий для школьников иркутских школ № 24, 80, студентов ИГУ, ИрГТУ и гостей из США и Китая.

Музей занимательной науки «Экспериментарий» в 2015 г. продолжал активную работу по популяризации научных знаний среди школьников и студентов Иркутска, Иркутской области, а также жителей других регионов Российской Федерации. Проводились тематические лекции в музее с использованием интерактивных демонстрационных приборов, а также увлекательные экскурсии в планетарии, посвященные тайнам звездного неба.

В 2015 г. открылась «Школа волшебников», где опытные преподаватели в игровой форме демонстрируют интересные и познавательные опыты.

В «Экспериментарии» были созданы новые интерактивные экспонаты, демонстрирующие проявление различных физических законов. После глубокой корректировки была изменена и доработана экскурсионная программа музея для старших и младших школьников. Внесены существенные изменения в лекции для посетителей планетария. Начали использоваться новые визуальные и цифровые материалы, что существенно повысило наглядность и эффектность восприятия материала.

## 7.10. Работа Совета научной молодежи Института

Совет научной молодежи (СНМ) Института в 2015 г. принимал активное участие в научной и научно-организационной деятельности Института. Проведена следующая работа:

- Участие в организации XIV Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике (БШФФ-2015) «Физические процессы в космосе и околоземной среде» и в ее рамках — XIV Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». СНМ участвовал в решении организационных вопросов, связанных с подготовкой и проведением конференции. Члены СНМ участвовали в оценке докладов участников в рамках конкурса докладов. В рамках бюджета СНМ принимал финансовое участие в проведении конференции.
- Участие в организации и проведении конференции школьников «Человек и космос». Координационная работа членов СНМ обеспечила активное участие молодежи ИСЗФ в работе конференции в качестве членов оргкомитета, руководителей работ школьников, членов жюри. СНМ оказывал активную информационную поддержку мероприятия, размещая информацию о нем и делая рассылку по электронной почте.
- Участие в организации дней науки. В рамках дней науки были организованы: молодежный вечер с викториной, турпоход. Члены СНМ Ишин А.Б. и Едемский И.К. провели межинститутский турпоход, в котором приняли участие около 20 человек из различных институтов ИНЦ. Сообщение о проведении мероприятия рассыпалось по институтам, принять участие мог каждый желающий. Поход состоял в виде маршрута выходного дня к скальникам «Витязь» и «Идол». Молодежный вечер собрал около 20 молодых сотрудников Института.
- Участие в организации и проведении молодежных мероприятий: научных слемов, хакатонов. СНМ принимал активное участие в проведении массовых мероприятий по популяризации науки. Члены совета выступали непосредственными участниками научного слэма, проводившегося по инициативе ИНЦ СО РАН. Член СНМ Едемский И.К. занял третье место на Втором научном слэме.
- Организация информационной рассылки о проводимых конкурсах, грантах, конференциях. СНМ была организована рассылка актуальной информации о научных российских и международных мероприятиях, а также спортивных мероприятиях, проводимых в Институте и ИНЦ. Кроме того, молодым сотрудникам рассыпается информация о конкурсах на получение стипендий и грантов на научные исследования. СНМ поддерживает также информационный стенд, на котором размещается актуальная информация для молодых сотрудников Института, и сайт, на котором молодые сотрудники в интерактивном режиме могут получать необходимую им информацию о семинарах и практических занятиях.
- Проведение конкурса поддержки мобильности (конференции, семинары, выступления с представлением диссертации) молодых ученых Института. СНМ в рамках выделенного бюджета ежегодно проводит конкурс на поддержку командировок молодых сотрудников с целью повышения их мобильности. Целью конкурса является не только помочь молодежи в представлении своих работ на иногородних конференциях, но и обучение поиску альтернативных источников финансирования своих исследований, что очень

важно с точки зрения увеличения внебюджетного финансирования. В рамках конкурса в текущем году поддержано 6 командировок молодых сотрудников Института.

- В рамках работы со школьниками совместно с НОЦ ИСЗФ СО РАН осуществлялась организация производственной практики школьников лицея-интерната № 1 г. Иркутска. Членами СНМ проводилась научное руководство и общая организация практики. В рамках практики 14 школьников провели недельную научно-ознакомительную работу в Институте.

- СНМ организовано проведение образовательных семинаров. Начато проведение регулярных семинаров на английском языке и образовательных семинаров по информационным технологиям. Семинары проводятся силами молодых сотрудников ИСЗФ СО РАН, а также ученых, приглашенных из других научных организациях. В 2015 г. проведены следующие семинары: «Визуализация научных данных с помощью GMT» (И. Живетьев, ИКИР ДВО РАН); «Параллельное программирование с OpenMP» (М. Пензин, ИСЗФ СО РАН); «Параллельное программирование с MPI» (Ташлыков Викторб ИСЗФ СО РАН). Организован курс из 5 лекций «Язык программирования Python для научных задач» (М. Пензин, А. Киселев, ИСЗФ СО РАН). Организованы также семинары, посвященные обсуждению современных публикаций.

- Поощрение лучших аспирантов по итогам годовой аттестации. СНМ ежегодно проводится конкурс премий аспирантов, основная задача которого состоит в повышении качества работы аспирантов. По согласованию с аттестационной комиссией за высокие результаты в научной деятельности при обучении в аспирантуре было поощрено четверо аспирантов ИСЗФ СО РАН: Дерес А., Киселев В., Подлесный С., Кириченко К.

- Подготовка списка и помощь молодым сотрудникам в подготовке документов для участия в долевом строительстве жилищного комплекса «Сигма».

- Помощь в организации парада Победы. СНМ принимал участие в торжественном шествии, приуроченном к 70-летию Великой Победы. Участники шествия несли транспаранты и плакаты с портретами ветеранов — сотрудников ИНЦ.

- При совместной организационной, финансовой и информационной поддержке СНМ и профсоюзного комитета Института регулярно проводились турниры по теннису, футболу и шахматам, были организованы молодежные встречи.

## 7.11. Проведение научных мероприятий

С 8 по 12 июня 2015 г. В Институте прошло четвертое международное рабочее совещание “MHD Waves in Space Plasma: Theory, Methods and Observations” (RadioSun-4), в рамках совещания была проведена летняя школа для аспирантов и молодых ученых.

Совещание проводилось в рамках проекта MC IRSES Network “Radiophysics of the Sun”, осуществляемого при поддержке 7-й рамочной программы Marie Curie International Research Staff Exchange. Исследования, проводимые участниками проекта, тесно связаны с различными волновыми процессами в космической плазме. Одним из приоритетных направлений является радиоастрофизика Солнца, что и дало название проекту. Во время конференции были заслушаны сообщения по широкому кругу актуальных вопросов физики Солнца:

- МГД-колебания в солнечных магнитных структурах;
- Динамика волн и солнечная активность;
- Квазипериодические пульсации в солнечных вспышках;
- Энерговыделение во время солнечных вспышек: от магнитных полей до частиц и волн;
- Корональные выбросы и волны в космической плазме;
- Развитие и автоматизация методов обнаружения волновых процессов;
- Новые инструменты для исследований космической плазмы.

Участниками мероприятия были ученые из Великобритании (University of Warwick), Чешской Республики (Astronomical Institute, AS CR), Бельгии (KU Leuven), Польши (Maria Curie-Sklodowska University), Австрии (Institute of Physics, IGAM, KF-University of Graz),

Колумбии (Universidad Nacional de Colombia) и Китая (National Astronomical Observatories of the Chinese Academy of Sciences и Yunnan Observatories, China Academy of Sciences). На конференции было представлено и заслушано 55 докладов.

Программа летней школы для аспирантов и молодых ученых состояла из пяти лекций, которые прочитали ведущие российские и зарубежные ученые и специалисты в области физики Солнца и физики околоземного космического пространства: д.ф.-м.н. В.В. Гречнев (ИСЗФ СО РАН); д.ф.-м.н. В.В. Мишин (ИСЗФ СО РАН); Giuseppe Nistico (University of Warwick, UK), Ding Yuan (Katholieke Universiteit Leuven, Belgium), Hana Meszarosova (Astronomical Institute, AS CR, Czech Republic).

Мероприятие проводилось на базе Иркутской областной библиотеки им. И.И. Молчанова-Сибирского в рамках договора о сотрудничестве. Участники совещания прочитали две публичные научно-популярные лекции для посетителей библиотеки: «Сейсмология солнечной короны» (В.М. Накаряков, University of Warwick, UK) и «The Variable Sun» (David Pascoe, University of Warwick, UK).

В совещании RadioSun-4 приняли участие 65 человек, из них 7 лекторов (2 российских и 5 зарубежных), 16 аспирантов, 39 иногородних участника (9 россиян и 30 иностранцев). Публичные научно-популярные лекции посетили около ста человек.

С 14 по 18 сентября 2015 г. в Институте прошла XIV Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике (БШФФ-2015) «Физические процессы в космосе и околоземной среде» и в ее рамках – XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом».

Центральной темой БШФФ-2015 стал укрупненный инвестиционный проект «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук», реализуемый на базе ИСЗФ СО РАН. В рамках Школы молодым ученым, аспирантам и студентам 8 лекций прочитали ведущие российские и зарубежные ученые и специалисты в области физики околоземного космического пространства, физики Солнца и радиоастрономии, радарных и лидарных технологий зондирования атмосферы и околоземного пространства, математического моделирования физических систем: акад. РАН Г.А. Жеребцов (ИСЗФ СО РАН); Prof. J.M. Ruohoniemi (Blacksburg, USA, Virginia Polytechnic Institute and State University); д.ф.-м.н. А.В. Медведев (ИСЗФ СО РАН); д.ф.-м.н., проф. В.М. Накаряков (Warwick, UK, Physics Department, University of Warwick); д.ф.-м.н., Г.Г. Матвиенко (Томск, ИОА СО РАН), к.ф.-м.н. С.М. Бобровников (Томск, ИОА СО РАН); к.ф.-м.н. С.В. Лесовой (ИСЗФ СО РАН); к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов (ИСЗФ СО РАН).

XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» была посвящена фундаментальным проблемам в области физики Солнца и космических лучей; физики околоземного космического пространства (магнитосфера и ионосфера), средней и нижней атмосферы; радарного и лидарного зондирования околоземного пространства; математического моделирования физических систем; теоретической физики; лазерной физики. В мероприятии участвовали студенты, аспиранты и молодые ученые из Казахстана (Алматы, ДТОО Институт ионосферы), Москвы (МГУ, ИКИ РАН, МФТИ, ИЗМИРАН, ИДГ РАН, ИФЗ им. Шмидта, ИФА РАН, ОАО РТИ им. Минца), Санкт-Петербурга (РГГМУ, СПбГУ, ААНИИ), Нижнего Новгорода (ИПФ РАН), Казани (КФУ), Апатит (ПГИ КНЦ РАН), Калининграда (ЗО ИЗМИРАН, БФУ им. Канта), Томска (ИОА СО РАН, НИ ТГУ), Якутска (ИКФИА СО РАН, СВФУ), Паратунки (ИКИР ДВО РАН), Иркутска (ИСЗФ СО РАН, ИГУ, АО ИГУ, ИрГТУ, ИФ ИЛФ СО РАН, ИрГУПС), Новосибирска (ИЛФ СО РАН), Красноярска (СФУ). Было представлено и заслушано 60 докладов молодых ученых по следующим секциям:

- А. Астрофизика и физика Солнца;
- Б. Физика околоземного космического пространства;
- С. Диагностика естественных неоднородных сред и математическое моделирование;
- Д. Физика атмосферы.

В стеновой сессии по этим научным направлениям было представлено 35 докладов.

Заочное участие в Конференции приняли 5 аспирантов и молодых ученых из Украины (Харьков, ХНУ им. Каразина, Институт ионосферы НАНУ и МОНУ) и Таджикистана (Душанбе, ТНУ, Академия образования респ. Таджикистан; Худжанд, ХГУ им. Гафурова).

Всего в БШФФ-2015 и Конференции приняли участие 103 человека, из них 8 лекторов (6 российских и 2 зарубежных), 40 иногородних молодых ученых (37 россиян и 3 иностранца), 2 иногородних слушателя. Дополнительно в мероприятии принимали участие слушатели — студенты физического факультета ИГУ, сотрудники ИСЗФ СО РАН и соавторы докладчиков.

## **7.12. Участие в выставках**

На постоянно действующей выставке разработок Сибирского отделения в Новосибирске демонстрируется прикладная разработка ИСЗФ СО РАН «Региональный мониторинг состояния окружающей среды с помощью дистанционного спутникового зондирования».

## **7.13. Участие в научных мероприятиях**

В 2015 г. сотрудники Института участвовали в многочисленных научных мероприятиях — как российских, так и международных, в том числе зарубежных.

### ***Российские:***

1. 38-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений», г. Апатиты Мурманской области, 2–6 марта 2015 г.
2. 3-я Всероссийская научно-техническая конференция «РТИ Системы ВКО – 2015», г. Москва, 28 мая 2015 г.
3. 2-я Всероссийская научно-технической конференция «Системы связи навигации», г. Красноярск, 27–28 августа.
4. Тринадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ИКИ РАН, г. Москва, 16–20 ноября 2015 г.
5. Десятая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», г. Москва, ИКИ РАН, 16–20 февраля 2015 г.
6. XIX Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015», Санкт-Петербург, ГАО РАН, 5–9 октября 2015 г.
7. Конференция «Астрономия от ближнего космоса до космологических далей», ГАИШ МГУ и АО, май 2015 г.
8. Всероссийская научно-практическая конференция «Космодром «Восточный» и перспективы развития российской космонавтики», г. Благовещенск, АмГУ, 5–6 июня 2015 г.
9. Российская конференция по магнитной гидродинамике, г. Пермь, 22–25 июня 2015 г.
10. Совещание «Средства и методы обнаружения опасных небесных тел», Москва, ИНАСАН, 25 марта 2015 г.

### ***Международные:***

1. Конференция Международного радиофизического союза (URSI AT-RASC 2015), г. Лас-Пальмос-Гранд-Канария (Испания), 18–25 мая 2015 г.
2. 26th IUGG General Assembly, A30c-A30c A30 Multi-Spectral Studies of Solar Flares (Div. IV), Prague, Czech Republic, July 2–10, 2015.
3. XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы», г. Томск, 22–26 июня 2015 г.

4. Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2015). Санкт-Петербург, Петродворец, 23–26 июня 2015 г.
5. Международный симпозиум “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS), г. Прага (Чехия), 6–9 июля 2015 г.
6. RadioSun-4 Workshop, Russia, Irkutsk, ISTP, 8–12 June 2015.
7. XIV Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике, Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», г. Иркутск, 14–18 сентября 2015 г.
8. EGU General Assembly 2015.
9. Seventh Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”, Sunny Beach, Bulgaria, 1–5 June 2015.
10. Warwick-Monash Meeting “Solar Atmospheric Magnetic Connectivity”, Великобритания, Ковентри, Университет Уорика, 23–25 февраля 2015 г.
11. 12th International School & Symposium for Space Simulations, Czech Republic, Prague, July 2–10, 2015.
12. 14th RHESSI Workshop, USA, Newark, NJIT, August 12–15, 2015.
13. Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории, Крым, пос. Научный, КРАО, 6–12 сентября 2015 г.
14. Международная конференция «Настоящее и будущее малых и средних телескопов», 19–22 октября 2015 г., п. Нижний Архыз, КЧР, Россия.
15. The 3rd Asia-Pacific Solar Physics Meeting APSPM2015, Корея, Сеул, Сеульский Национальный Университет, 3–6 ноября 2015 г.

## 8. Публикации

### 8.1. Статьи в отечественных журналах

1. Алсаткин С.С., Медведев А.В., Ратовский К.Г. Особенности поведения ионосфера вблизи максимума ионизации по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния для низкой и умеренной солнечной активности // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 28–36.
2. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Кочеткова О.С., Мордвинов В.И. Летняя циркуляция атмосферы Северного полушария в периоды сильного и слабого муссона Восточной Азии // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 1. С. 52–58.
3. Бернгардт О.И., Кутелев К.А., Куркин В.И., Гркович К.В., Ямпольский Ю.М., Кащеев А.С., Кащеев С.Б., Галушко В.Г., Григорьева С.А., Кусонский О.А. Двухпозиционная локация высокоширотных ионосферных неоднородностей с использованием дециметрового радара ЕКБ и радиотелескопа УТР-2: первые результаты // Изв. вузов. Радиофизика. 2015. Т. 58, № 6. С. 433–453.
4. Боровик А.В., Мячин Д.Ю., Уралов А.М. Модельное представление внепятенной солнечной вспышки // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер. «Науки о Земле». 2015. Т. 14. С. 15–20.
5. Варгин П.Н., Медведева И.В. Исследование температурного и динамического режимов внетропической атмосферы Северного полушария в период внезапного стратосферного потепления зимой 2012–2013 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51, № 1. С. 20–38.
6. Головко А.А., Салахутдинова И.И. Эволюция активных областей на Солнце: выявление нового магнитного поля методом мультифрактального сегментирования // Астрон. журн. 2015. Т. 92, № 8. С. 650–664.
7. Гульельми А., Потапов А.С., Довбня Б.В. О происхождении частотной модуляции серпентинной эмиссии // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 2. С. 85–90.
8. Гульельми А., Потапов А.С., Довбня Б.В., Зотов О.Д. Обзор импульсных воздействий на колебания магнитосферы // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 72–81.

9. Девятова Е.В., Угрюмов А.И., Мордвинов В.И. Связь летней тропосферной циркуляции с циркуляцией стратосферы в конце зимы // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25 (138). С. 44–50.
10. Девятова Е.В., Кочеткова О.С., Татарников А.В., Мордвинов В.И., Щеглова Е.С. Сравнение полей температуры по данным спутникового зондирования и архива ERA-INTERIM в зимней стратосфере над Сибирью // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25 (138). С. 51–54.
11. Дегтярев В.И., Попов Г.В. Скорость солнечного ветра и межпланетное магнитное поле вблизи земли в периоды вековых минимумов солнечной активности // Вопросы естествознания. Иркутск: ИрГУПС, 2015. № 1. С. 23–34.
12. Деминов М.Г., Деминова Г.Ф., Жеребцов Г.А., Полех Н.М. Свойства изменчивости концентрации максимума F2-слоя над Иркутском при разных уровнях солнечной и геомагнитной активности // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 56–62.
13. Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В., Кашкина Т.В., Гамаюнов И.Ф. Наблюдения нестационарных вариаций ускорения фазы несущей трансионосферных сигналов навигационных спутников // Теория и техника радиосвязи. 2015. № 1. С. 28–37.
14. Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В., Кашкина Т.В., Гамаюнов И.Ф. Нестационарные вариации ускорения фазы несущей сигналов спутников GPS и ГЛОНАСС // Электромагнитные волны и электронные системы. 2015. Т. 20, № 2. С. 22–31.
15. Дерес А.С., Анфиногентов С.А. Определение высот формирования УФ- и КУФ-излучения над тенью солнечного пятна по наблюдениям 3-минутных колебаний // Астрон. журн. 2015. Т. 92, № 10. С. 841–850.
16. Есевевич В.Г., Есевевич М.В. Отличия в развитии начальной фазы формирования двух типов корональных выбросов массы // Космич. исслед. 2015. Т. 53, № 1. С. 24–34.
17. Есевевич В.Г., Есевевич М.В., Зимовец И.В. О возможной причине частотного расщепления гармоник солнечного радиовсплеска второго типа // Астрон. журн. 2015. Т. 92, № 12. С. 997–1008.
18. Жеребцов Г.А. Предисловие главного редактора к первому номеру журнала «Солнечно-земная физика» // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 3.
19. Жеребцов Г.А. К 100-летию со дня рождения Н.М. Ерофеева // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 90–92.
20. Жеребцов Г.А. Земное эхо солнечных бурь // В мире науки. 2015. № 12. С. 123–133.
21. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В., Обридко В.Н. Сравнительный анализ свойств магнитного поля в ведущих и замыкающих солнечных пятнах // Астрон. журн. 2015. Т. 92, № 2. С. 180–189.
22. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Сравнение свойств ведущих и замыкающих солнечных пятен // Геомагнетизм и астрономия. 2015. Т. 55, № 1. С. 15–25.
23. Захаров В.И., Хамидуллин А.Ф. Оценка параметров волновых возмущений в ионосфере по совместным данным GPS-интерферометрии и вертикального зондирования // Вестник МГУ. Сер. 3: Физика, астрономия. 2015. № 1. С. 66–72.
24. Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова М.И., Чернов А.А., Веденникова Ю.А., Полякова А.С. Анализ и разработка алгоритма синхронизации терминалов SDR ЛЧМ-ионозонда // Вестник Поволжского государственного технического университета. Сер. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2015. № 3. С. 6–17.
25. Караваев Ю.С. Наблюдение и моделирование формы потенциально опасного астероида 275677 // Астрон. вестник. 2015. Т. 49, № 4. С. 308–311.
26. Карабанян А.А., Молодых С.И. Структура поля давления при прохождении Землей секторов межпланетного магнитного поля // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 4. С. 99–105.
27. Кичатинов Л.Л., Непомнящих А.А. Параметрическая модуляция динамо-волн // Письма в АЖ. 2015. Т. 41, № 7. С. 409.
28. Кичигин Г.Н. Ударные волны, образованные взрывами в космосе, — источники космических лучей сверхвысоких энергий // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1.

С. 109–114.

29. Кичигин Г.Н. Фокусирующие свойства магнитного поля Паркера // Изв. РАН. Сер. физическая. 2015. Т. 79, № 5. С. 670–671.
30. Кичигин Г.Н., Мирошниченко Л.И., Сидоров В.И., Язев С.А. Диамагнитное уменьшение магнитного поля над солнечным пятном в гамма-вспышке 14 июля 2000 г. // Физика плазмы. 2015. Т. 41, № 8. С. 708–713.
31. Клименко М.В., Клименко В.В., Бессараб Ф., Ратовский К.Г., Захаренкова И.Е., Носиков И.А., Степанов А.Е., Котова Д.С., Воробьев В.Г., Ягодкина О.И. Влияние геомагнитной бури 26–30 сентября 2011 г. на ионосферу и распространение радиоволн КВ-диапазона. 1. Ионосферные эффекты // Геомагнетизм и астрономия. 2015. Т. 55, № 6. С. 769.
32. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Исследование оптической турбулентности в условиях сильно устойчивой термической стратификации атмосферы // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер. «Науки о Земле». 2015. Т. 12, № 1. С. 23–34.
33. Коняев П.А., Боровик А.В., Жданов А.А. Анализ структуры и развития внепятечных вспышек по цифровым изображениям хромосферы Солнца // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 9. С. 844–849.
34. Кочанов А.А., Морозова А.Д., Синеговская Т.С., Синеговский С.И. Характеристики потока нейтрино высоких энергий в атмосфере Земли // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 3–10.
35. Кочеткова О.С., Михалев А.В., Мордвинов В.И., Татарников А.В. Динамика атмосферы и сейсмическая активность в Байкальской рифтовой зоне // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 55–61.
36. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Спектры вариаций и анизотропия космических лучей в период GLE 11 июня 1991 г. // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 115–120.
37. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Особенности модуляции космических лучей в октябре–ноябре 2003 г. // Изв. РАН. Сер. физическая. 2015. Т. 79, № 5. С. 681–684.
38. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Исследование энергетического спектра и анизотропии космических лучей в периоды солнечно-протонных событий 11 и 15 июня 1991 г. // Письма в АЖ. 2015. Т. 41, № 9. С. 573.
39. Криссинель Б.Б. Моделирование структуры спокойных участков атмосферы Солнца, соответствующей излучению в диапазоне длин волн 1–100 см // Астрон. журн. 2015. Т. 92, № 1. С. 66.
40. Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М., Яковлева О.Е. Сезонные изменения отношений основных газовых составляющих термосферы в последнем минимуме солнечной активности (2007–2009 гг.) // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25 (138). С. 29–32.
41. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Долговременные изменения в нейтральном газовом составе термосферы // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 30–34.
42. Ларюнин О.А., Подлесный А.В., Романовский Ю.А. Интерпретация ионограмм наклонного зондирования в приближении сферически-слоистой ионосферы // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 66–81.
43. Леви К.Г., Воронин В.И., Задонина Н.В., Язев С.А. Малый ледниковый период. Часть 2. Гелиофизические и природно-климатические аспекты // Известия ИГУ. Сер. «Геоархеология. Этнология. Антропология». 2014. Т. 9. С. 2–33.
44. Леонович А.С., Мазур В.А., Козлов Д.А. МГД-волны в геомагнитном хвосте: обзор // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 4–22.
45. Леонович А.С., Козлов Д.А. О баллонной неустойчивости в токовых слоях // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 2. С. 49–69.
46. Леонович Л.А., Ташилин А.В., Леонович В.А. Отклик эмиссий атомарного кислорода 557,7 и 630 нм на резкие вариации параметров солнечного ветра // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 3. С. 278–282.
47. Лубышев Б.И., Обухов А.Г. Соотношение неопределенности в радиоастрономии // Вестник ИрГТУ. 2015. № 12. С. 139–144.

48. Мазур В.А., Чуйко Д.А. МГД-волновод во внешней магнитосфере и механизмы его возбуждения // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 36–55.
49. Мазур В.А., Шухман И.Г. К выводу соотношения Десслера–Паркера–Скопке // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 2. С. 80–84.
50. Михалев А.В., Подлесный С.В., Костылева Н.В., Комарова Е.С. Оптические характеристики ночного неба в Восточной Сибири после падения Челябинского метеорита. 2. Собственное излучение верхней атмосферы Земли // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 8. С. 718–724.
51. Мишин В.В., Томозов В.М. Проявления неустойчивости Кельвина–Гельмгольца в атмосфере Солнца, солнечном ветре и магнитосфере Земли // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25 (138). С. 10–20.
52. Мордвинов А.В., Головко А.А., Язев С.А. Комплексы активности и инверсия магнитного поля на полюсах Солнца в текущем цикле // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25 (138). С. 3–9.
53. Носов В.В., Григорьев В.М., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Носов Е.В., Тергоев В.И. Эффект перемежаемости турбулентности в высокогорных наблюдениях // Изв. вузов. Физика. 2015. Т. 58, № 8/3. С. 210–213.
54. Пархомов В.А., Довбня Б.В., Бородкова Н.Л., Сафаргалеев В.В., Пашинин А.Ю. Импульсные всплески геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне 0.2–7 Гц как первый сигнал о взаимодействии межпланетных ударных волн с магнитосферой // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25 (138). С. 21–28.
55. Пархомов В.А., Бородкова Н.Л., Есевевич В.Г., Есевевич М.В. Резкие изменения концентрации в спорадическом солнечном ветре и их воздействие на магнитосферу Земли // Космич. исслед. 2015. Т. 53, № 6. С. 449–460.
56. Перевалова Н.П., Романова Е.Б., Каташевцева Д.Д., Тимофеева О.В. Пространственное распределение полного электронного содержания в Арктическом регионе России по данным GPS // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 40–46.
57. Подгорный А.И., Подгорный И.М., Мешалкина Н.С. Динамика магнитного поля активных областей в предвспышечном состоянии и во время солнечных вспышек // Астрон. журн. 2015. Т. 92, № 8. С. 669–680.
58. Полюшкина Т.Н., Довбня Б.В., Потапов А.С., Цэгмед Б., Рахматулин Р.А. Частотная структура спектральных полос ионосферного альвеновского резонатора и параметры ионосферы // Геофизические исследования. 2015. Т. 16, № 2. С. 39–57.
59. Поляков А.Р. Связь пиков корреляционных функций флуктуаций амплитуды и фазы собственных частот в спектре колебания // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 62–71.
60. Полякова А.С., Перевалова Н.П. Сравнительный анализ возмущений ПЭС над зонами действия тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 63–74.
61. Полякова А.С., Черниговская М.А., Перевалова Н.П. Исследование отклика ионосферы на внезапные стратосферные потепления в Азиатском регионе России // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 47–57.
62. Поляченко В.Л., Поляченко Е.В., Шухман И.Г. Два сценария неустойчивости радиальных орбит в сферически-симметричных бесстолкновительных звездных системах // Письма в АЖ. 2015. Т. 41, № 1. С. 3–16.
63. Пономарчук С.Н., Ильин Н.В., Пензин М.С. Модель распространения радиоволн в диапазоне частот 1–10 МГц на основе метода нормальных волн // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25 (138). С. 33–39.
64. Пономарчук С.Н., Котович Г.В., Романова Е.Б., Тацкилин А.В. Прогноз характеристик распространения декаметровых радиоволн на основе глобальной модели ионосферы и плазмосферы // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 49–54.

65. Ратовский К.Г., Ойнац А.В., Медведев А.В. Сходства и различия регулярных вариаций параметров F2-слоя полярной и среднеширотной ионосферы в восточно-сибирском секторе // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 2. С. 70–79.
66. Руденко Г.В., Дмитриенко И.С. Волна над источником в теплопроводной атмосфере // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 11–29.
67. Соколова А.В., Пуляевская Е.В., Вершинина С.Э., Ильин Н.В. Разработка эколого-градостроительной типологии дворовых пространств Иркутска и методы улучшения их комфортности средствами озеленения // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2015. Т. 12. С. 48–57.
68. Семенов А.И., Шефов Н.Н., Медведева И.В. Эмпирическая модель вариаций эмиссии континуума верхней атмосферы. 3. Высота излучающего слоя // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, № 4. С. 559–567.
69. Семенов А.И., Шефов Н.Н., Медведева И.В., Суходоев В.А. Вариации различного временного масштаба активности Солнца и звезд поздних спектральных классов // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, № 6. С. 723–732.
70. Скоморовский В.И., Кушталь Г.И., Лоптева Л.С., Прошин В.А., Цаюкова А.Г. Коммерческие узкополосные солнечные фильтры Фабри–Перо, методы и приборы для их исследований // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 72–90.
71. Сыч Р.А. Волны и колебания в атмосфере солнечных пятен: обзор // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 2. С. 3–21.
72. Теплицкая Р.Б., Ожогина О.А., Пипин В.В. Линия лития 671 нм на полярном и экваториальном краях солнечного диска // Письма в АЖ. 2015. Т. 41, № 12. С. 911–922.
73. Томозов В.М., Строкин Н.А. Сравнительный анализ эффективности ускорения протонов и электронов в лабораторной и солнечной плазме // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, № 2. С. 161–167.
74. Тясто М.И., Данилова О.А., Птицына Н.Г., Сдобнов В.Е. Вариации жесткостей обрезания космических лучей во время сильной геомагнитной бури в ноябре 2004 г. // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 2. С. 97–105.
75. Файнштейн В.Г., Загайнова Ю.С. О возникновении и движении быстрых импульсных коронарных выбросов массы, связанных с мощными вспышками и не связанных с эруптивными волокнами // Космич. исслед. 2015. Т. 53, № 1. С. 35–50.
76. Фирстова Н.М. Связь между появлением источников  $\gamma$ -излучения и ударной линейной поляризацией линии Нα во вспышке 23 июля 2002 г. // Письма в АЖ. 2015. Т. 41, № 10. С. 642–650.
77. Хлыстова А.И. Связь доплеровских скоростей с параметрами магнитного поля при появлении активных областей в фотосфере Солнца // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 75–84.
78. Хлыстова А.И. Горизонтальная составляющая течений фотосферной плазмы при возникновении активных областей на Солнце // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 1. С. 85–97.
79. Челпанов А.А., Кобанов Н.И., Колобов Д.Ю. Характеристики колебаний в магнитных узлах солнечных факелов // Астрон. журн. 2015. Т. 92, № 10. С. 851–857.
80. Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Шпынев Б.Г. Метеорологические эффекты ионосферной возмущенности над регионом Восточной Сибири по данным вертикального радиозондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12, № 3. С. 137–146.
81. Шухман И.Г., Вайс Тернер Ш., Коэн Я. Линейная эволюция вихря, генерируемого локальным возмущением температуры в стратифицированном сдвиговом течении // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 2. С. 106–127.
82. Щербаков А.А., Медведев А.В., Кушнарев Д.С., Толстиков М.В., Алсаткин С.С. Расчет нейтральных меридиональных ветров в средних широтах с помощью Иркутского радара НР // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 37–48.
83. Язев С.А. Комплексы активности на Солнце в 24-м цикле солнечной активности //

Астрон. журн. 2015. Т. 92, № 3. С. 260–269.

84. Ясюкевич Ю.В., Захаров В.И., Куницын В.Е., Войков С.В. Отклик ионосферы на землетрясение в Японии 11 марта 2011 г. по данным различных GPS-методик // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, № 1. С. 113–122.

85. Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Куницын В.Е., Падохин А.М. Влияние дифференциальных кодовых задержек GPS/ГЛОНАСС на точность определения абсолютного полного электронного содержания ионосферы // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, № 6. С. 790–796.

86. Ясюкевич Ю.В., Астафьева Э.И., Живетьев И.В., Максиков А.П. Глобальное распределение срывов сопровождения фазы GPS и сбоев измерения полного электронного содержания во время магнитных бурь 15 мая 2005 г. и 20 ноября 2003 г. // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 58–65.

87. Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В. Использование технологии графов для ионосферных исследований // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 3. С. 21–27.

## 8.2. Статьи в зарубежных журналах

1. Afanasiev A.N., Nakariakov V.M. Nonlinear slow magnetoacoustic waves in coronal plasma structures // Astron. Astrophys. 2015. V. 573. P. A32.

2. Afanasiev A.N., Nakariakov V.M. Cut-off period for slow magnetoacoustic waves in coronal plasma structures // Astron. Astrophys. 2015. V. 582. P. A57.

3. Akhtemov Z.S., Andreeva O.A., Rudenko G.V., Stepanyan N.N., Fainshtein V.G. Variation over time in latitudinal distribution of the large-scale magnetic fields in the solar atmosphere at heights from the photosphere to the source surface // Adv. Space Res. 2015. V. 55, N 3. P. 968–978.

4. Alania M.V., Modzelewska R., Wawrzynczak A., Sdobnov V.E., Kravtsova M. 27-day variation of the GCR intensity based on corrected and uncorrected for geomagnetic disturbances data of neutron monitors // J. Physics: Conference Ser. 2015. V. 632 P. 012085.

5. Anfinogentov S., Nakariakov V.M., Nistico G. Decayless low-amplitude kink oscillations: A common phenomenon in the solar corona? // Astron. Astrophys. 2015. V. 583. P. A136.

6. Antokhina O., Antokhin P.N., Kochetkova O.S., Mordvinov V.I. Summer circulation of the Northern hemisphere atmosphere in period of strong and weak East Asian monsoon // Atmos. Oceanic Opt. 2015. V. 28, N 3. P. 258–264.

7. Berngardt O.I., Kotovich G.V., Mikhailov S.Y., Podlesny A.V. Dynamics of vertical ionospheric inhomogeneities over Irkutsk during 06:00–06:20 UT 11/03/2011 caused by Tohoku earthquake // J. Atm. Sol.-Terr. Phys. 2015. V. 132. P. 106–115.

8. Berngardt O.I., Voronov A.L., Grkovich K. Optimal signals of Golomb ruler class for spectral measurements at EKB SuperDARN radar: Theory and experiment // Radio Science. 2015. V. 50, N 6. P. 486–500.

9. Berngardt O.I., Zolotukhina N.A., Oinats A.V. Observations of field - aligned ionospheric irregularities during quiet and disturbed conditions with EKB radar: first results // Earth Planets Space. 2015. V. 67, N 9. P. 143.

10. Berngardt O.I., Kutelev K.A., Kurkin V.I., Grkovich K., Yampolsky Y.M., Kashcheyev A., Kashcheyev S., Galushko V., Grigorieva S.A., Kusonski O.A. Bistatic sounding of high-latitude ionospheric irregularities using a decameter EKB Radar and a UTR-2 Radio Telescope: First results // Radiophysics and Quantum Electronics. 2015. V. 58, N 6. P. 390–408.

11. Berngardt O.I., Perevalova N.P., Kutelev K.A., Zhrebtssov G.A., Dobrynina A.A., Shestakov N.V., Zagretdinov R.V., Bakhtiyarov V.F., Kusonski O.A. Towards the azimuthal characteristics of ionospheric and seismic effects of Chelyabinsk meteorite fall according to the data from coherent radar, GPS and seismic network // JGR. 2015. V. 120. DOI: 10.1002/2015JA021549.

12. Chelpanov A.A., Kobanov N.I., Kolobov D.Y. Characteristics of oscillations in magnetic knots of solar faculae // Astron. Rep. 2015. V. 59, N 10. P. 968–973.

13. Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Ratovsky K.G. Meteorological effects of ionospheric disturbances from vertical radio sounding data // J. Atm. Sol.-Terr. Phys. 2015. V. 136B.

P. 235–243.

14. Chertok I. M., Abunina M.A., Abunin A.A., Belov A.V., Grechnev V.V. Relationship between the magnetic flux of solar eruptions and the  $A_p$  index of geomagnetic storms // *Sol. Phys.* 2015. V. 290, N 2. P. 627–633.
15. Chertok I.M., Belov A.V., Grechnev V.V. A simple way to estimate the soft X-ray class of far-side solar flares observed with STEREO/EUVI // *Solar Phys.* 2015. V. 290, N 7. P. 1947–1961.
16. Chowdhury P., Srivastava A., Dwivedi B.N., Sych R.A., Moon Y.S. Study of multi-periodic coronal pulsations during an X-class solar flare // *Adv. Space Res.* 2015. V. 56, N 12. P. 2769–2778.
17. Churilov S.M. Instability development in shear flow with an inflection-free velocity profile and thin pycnocline // *Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity.* 2015. V. 4. N 3. P. 333–351.
18. Demidov M.L., Veretsky R.M., Kiselev A.V. On the peculiarities of manifestation of kG magnetic elements in observation of the Sun with low spatial resolution // *Proc. Intern. Astron. Union.* 2015. V. 305. P. 86–91.
19. Deres A., Anfinogentov S. Measurements of the formation heights of UV and EUV emission above sunspot umbrae from observations of three-minute oscillations // *Astron. Rep.* 2015. V. 59, N 10. P. 959–967.
20. Eselevich V.G., Eselevich M.V. Differences in the development of the initial phase of the formation of two types of coronal mass ejections // *Cosmic Res.* 2015. V. 55, N 1. P. 21–30.
21. Eselevich V.G., Eselevich M.V., Sadykov V., Zimovets I.V. Evidence of a blast shock wave formation in a CME–streamer interactions // *Adv. Space Res.* 2015. V. 56, N 12. P. 2793–2803.
22. Fainshtein V.G., Egorov Ya.I. Initiation of CMEs associated with filament eruption, and the nature of CME related shocks // *Adv. Space Res.* 2015. V. 54, N 3. P. 798–807.
23. Fainshtein V.G., Zaginova Yu. On the occurrence and the motion of fast impulsive coronal mass ejections associated with powerful flares and unassociated with eruptive filaments // *Cosmic Res.* 2015. V. 55, N 1. P. 31–46.
24. Fainshtein V.G., Egorov Ya.I. Characteristics of the motion of coronal mass ejections and related shocks depending on the heliocentric distance // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2015. V. 55, N 8. P. 1165–1170.
25. Firstova N.M. Connection between the appearance of gamma-ray sources and H-alpha line impact linear polarization in the July 23, 2002 flare // *Astron. Lett.* 2015. V. 41, N 10. P. 593–600.
26. Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. Evolution of solar active regions: Detecting the emergence of new magnetic field through multifractal segmentation // *Astron. Rep.* 2015. V. 59, N 8. P. 776–790.
27. Grechnev V.V., Uralov A.M., Kuzmenko I.V., Kochanov A.A., Chertok I.M., Kalandzhnikov S.S. Responsibility of a filament eruption for the initiation of a flare, CME, and blast wave, and its possible transformation into a bow shock // *Solar Phys.* 2015. V. 290, N 1. P. 129–158.
28. Grechnev V.V., Kiselev V., Meshalkina N.S., Chertok I.M. Relations between microwave bursts and near-Earth high-energy proton enhancements and their origin // *Solar Phys.* 2015. V. 290, N 10. P. 2827–2855.
29. Guglielmi A., Potapov A.S., Dovbnya B.V. Fine-minute solar oscillations and ion- cyclotron waves in the solar wind // *Solar Phys.* 2015. V. 290, N 10. P. 3023–3032.
30. Hallinan G., Littlefair S.P., Cotter G., Bourke S., Harding L.K., Pineda J.S., Butler R.P., Golden A., Basri G., Doyle J.G., Kao M.M., Berdyugina S.V., Kuznetsov A.A., Rupen M.P., Antonova A. Magnetospherically driven optical and radio aurorae at the end of the stellar main sequence // *Nature.* 2015. V. 523, N 7562. P. 568–571.
31. Kaltman T.L., Kochanov A.A., Myshyakov I.I., Maksimov V.P., Prosovetsky D.V.,

Tokhchukova S.K. Observations and modeling of the spatial distribution and microwave radiation spectrum of the active region NOAA 11 734 // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015. V. 55, N 8. P. 1124–1130.

32. Karak B.B., Kitchatinov L.L., Brandenburg A. Hysteresis between distinct modes of turbulent dynamos // *Astrophys. J.* 2015. V. 803, N 2. Art. id. 95.
33. Karavaev Yu.S. Observations of the potentially hazardous asteroid 275677 and the modeling of its shape // *Solar System Res.* 2015. V. 49, N 4. P. 271–274.
34. Kitchatinov L.L., Nepomnyashchikh A.A. Parametric modulation of dynamo waves // *Astron. Lett.* 2015. V. 41, N 7. P. 374–381.
35. Kitchatinov L.L., Olemskoy S.V. Dynamo saturation in rapidly rotating solar-type stars // *Res. Astron. Astrophys.* 2015. V. 15, N 11. Art. id. 1801.
36. Kichigin G.N. Focusing properties of the Parker magnetic field // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics*. 2015. V. 79, N 5. P. 616–617.
37. Kichigin G.N., Miroshnichenko L.I., Sidorov V.I., Yazev S.A. Diamagnetic reduction in the magnetic field above a sunspot in the gamma-ray burst on July 14, 2000 // *Plasma Phys. Rep.* 2015. V. 41, N 8. P. 651–655.
38. Klimenko M., Klimenko V., Karpachev A.T., Ratovsky K.G., Stepanov A.E. Spatial features of Weddell Sea and Yakutsk anomalies in  $f_0F2$  diurnal variations during high solar activity periods: Intercosmos-19 satellite and ground-based ionosonde observations, IRI reproduction and GSM TIP model simulation // *Adv. Space Res.* 2015. V. 55, N 8. P. 2020–2032.
39. Klimenko M., Klimenko V., Ratovsky K.G., Zakharenkova I.E., Yasyukevich Yu.V., Korenkova N.A., Chernyak Yu., Mylnikova A.A. Mid-latitude summer evening anomaly (MSEA) in F2 layer electron density and total electron content at solar minimum // *Adv. Space Res.* 2015. V. 56, N 9. P. 1951–1960.
40. Klimenko M., Klimenko V., Bessarab F.S., Ratovsky K.G., Zakharenkova I.E., Nosikov I.A., Stepanov A.V., Kotova D., Vorobjev V.G., Yagodkina D.I. Influence of geomagnetic storms of September 26–30, 2011 on the ionospheric and HF radio wave propagation. 1. Ionospheric effects // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015. V. 55, N 6. P. 744–762.
41. Klimenko M., Klimenko V., Bessarab F.S., Korenkov Y.N., Liu H., Goncharenko L.P., Tolstikov M.V. Study of the thermospheric and ionospheric response to the 2009 sudden stratospheric warming using TIME-GCM and GCM-TIP models: First results // *J. Geophys. Res.* 2015. V. 120, N 9. P. 7873–7888.
42. Klimushkin D., Mager P. The Alfvén mode gyrokinetic equation in finite-pressure magnetospheric plasma // *J. Geophys. Res.* 2015. V. 120, N 6. P. 4465–4474.
43. Kobanov N.I., Kolobov D.Y., Chelpanov A.A. Oscillations above sunspots and faculae: Height stratification and relation to coronal fan structure // *Solar phys.* 2015. V. 290, N 2. P. 363–380.
44. Kolobov D.Y., Kobanov N.I., Chelpanov A.A., Kochanov A.A., Anfinogentov S., Chupin S.A., Myshyakov I.I., Tomin V.E. Behaviour of oscillations in loop structures above active regions // *Adv. Space Res.* 2015. V. 56, N 12. P. 2760–2768.
45. Kotova D., Klimenko M., Klimenko V., Zakharov V.E., Ratovsky K.G., Nosikov I.A., Zhao, B. Using IRI and GSM TIP model results as environment for HF radio wave propagation model during the geomagnetic storm occurred on September 26–29, 2011 // *Adv. Space Res.* 2015. V. 56, N 9. P. 2012–2029.
46. Kravtsova M., Sdobnov V.E. Features of cosmic ray modulation in October and November 2003 // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics*. 2015. V. 79, N 5. P. 627–630.
47. Kravtsova M., Sdobnov V.E. Investigation of the cosmic ray energy spectrum and anisotropy during the solar proton events of June 11 and 15, 1991 // *Astron. Lett.* 2015. V. 41, N 9. P. 529–536.
48. Krissinel B.B. Modeling of the structure of quiescent areas of the solar atmosphere emitting at 1–100 cm // *Astron. Rep.* 2015. V. 59, N 1. P. 58–71.

49. Kunitsyn V., Kurbatov G., Yasyukevich Yu.V., Padokhin A. Investigation of SBAS L1/L5 signals and their application to the ionospheric TEC studies // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2015. V. 12, N 3. P. 547–551.
50. Kurt V.G., Yushkov B., Kudela K., Galkin I.A., Kashapova L.K. CORONAS-F observation of HXR and gamma-ray emission from the solar flare X10 on 29 October 2003 as a probe of accelerated proton spectrum // Contribution of the Astronomical Observatory of Skalnate Pleso. 2015. V. 45, N 1. P. 42–59.
51. Kuznetsov A.A., Kontar E.P. Spatially resolved energetic electron properties for the 21 May 2004 flare from radio observations and 3D simulations // Solar Phys. 2015. V. 290, N 1. P. 79–93.
52. Kuznetsov A.A., Van Doorsselaere T., Reznikova V.E. Simulations of gyrosynchrotron microwave emission from an oscillating 3D magnetic loop // Solar Phys. 2015. V. 290, N 4. P. 1173–1194.
53. Leonovich L.A., Tashchilin A.V., Leonovich V.A. Response of 557.7 and 630 nm atomic oxygen emission to sharp variations in solar wind parameters // Atmos. Oceanic Opt. 2015. V. 28, N 4. P. 376–380.
54. Leonovich A.S., Klimushkin D., Mager P. Experimental evidence for the existence of monochromatic transverse small-scale standing Alfvén waves with spatially dependent polarization // J. Geophys. Res. 2015. V. 120, N 7. P. 5443–5454.
55. Livshits M.A., Rudenko G.V., Katsova M.M., Myshyakov I.I. The magnetic virial theorem and the nature of flares on the Sun and other G stars // Adv. Space Res. 2015. V. 54, N 3. P. 920–926.
56. Lukovnikova A.A. Present state of cosmic ray stations of the Institute of Solar-Terrestrial Physics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISTP SB RAS) // J. Phys.: Conf. Ser. 2015. V. 632. P. 012067.
57. Mager P., Berngardt O.I., Klimushkin D., Zolotukhina N.A., Mager O.V. First results of the high-resolution multibeam ULF wave experiment at the Ekaterinburg SuperDARN radar: Ionospheric signatures of coupled poloidal Alfvén and drift compressional modes // J. Atm. Sol.-Terr. Phys. 2015. V. 130/131. P. 112–126.
58. Mazur V.A., Chuiko D.A. Azimuthal inhomogeneity in the MHD waveguide in the outer magnetosphere // J. Geophys. Res. 2015. V. 120, N 6. P. 4641–4655.
59. Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Alsatkin S.S., Shcherbakov A.A. A statistical study of internal gravity wave characteristics using the combined Irkutsk Incoherent Scatter Radar and digisonde data // J. Atm. Sol.-Terr. Phys. 2015. V. 132. P. 13–21.
60. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Studying atmospheric and ionospheric variabilities from long-term spectrometric and radio sounding measurements // J. Geophys. Res. 2015. V. 120, N 6. P. 5151–5159.
61. Medvedeva I.V., Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Shcherbakov A.A., Tolstikov M.V. Comprehensive study of disturbances of the neutral atmosphere and ionosphere parameters over Eastern Siberia during the 2013 January major sudden stratospheric warming // Adv. Space Research. 2015. V. 56, N 9. P. 1877–1885.
62. Mikhalev A.V., Podlesny S., Kostyleva N.V., Komarova E. Optical parameters of night sky over Eastern Siberia after the Chelyabinsk meteor event. 2. Airglow // Atmos. Oceanic Opt. 2015. V. 28, N 6. P. 555–560.
63. Mishin V.V., Mishin V.M., Lunyshkin S.B., Pu Z., Wang C. Strong induction effects during the substorms on 27 August 2001 // Earth Planets Space. 2015. V. 67. Art. # 162.
64. Mordvinov A.V., Grigoryev V.M., Erofeev D. Evolution of sunspot activity and inversion of the Sun's polar magnetic field in the current cycle // Adv. Space Res. 2015. V. 55, N 11. P. 2739–2743.
65. Mylnikova A.A., Yasyukevich Yu.V., Kunitsyn V., Padokhin A. Variability of GPS/GLONASS differential code biases // Results in Physics. 2015. V. 5. P. 9–10.
66. Oinats A.V., Kurkin V.I., Nishitani N. Statistical study of medium-scale traveling ionospheric disturbances using SuperDARN Hokkaido ground backscatter data for 2011 // Earth

Planets Space. 2015. V. 67, N 2. Art. # 22.

67. Nita G.M., Fleishman G.D., Kuznetsov A.A., Kontar E.P., Gary D. Three-dimentional radio and X-ray modeling and data analysis software: Revealing flare complexity // *Astrophys. J.* 2015. V. 799, N 2. Art. Id. 236.
68. Parkhomov V.A., Dmitriev A., Tsegmed B. On the origin of burst Pc1 pulsations produced in interaction with an oblique interplanetary shock // *Planet. Space Sci.* 2015. V. 109. P. 21–31.
69. Parkhomov V.A., Borodkova N.L., Eselevich V.G., Eselevich M.V. Abrupt changes of density in sporadic solar wind and their effect on Earth magnetosphere // *Cosmic Res.* 2015. V. 53, N 6. P. 411–422.
70. Perevalova N.P., Shestakov N.V., Voeykov S.V., Takanashi N., Guojie M. Ionospheric disturbances in the vicinity of the Chelyabinsk meteoroid explosive disruption as inferred from dense GPS observations // *Geophys. Res. Lett.* 2015. V. 42, N 16. P. 6535–6543.
71. Pipin V.V. Dependence of magnetic cycle parameters on period of rotation in non-linear solar-type dynamos // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2015. V. 451, N 2. P. 1528–1539.
72. Pipin V.V., Kosovichev A.G. Effects of large-scale non-axisymmetric pertrubations in the mean field solar dynamo // *Astrophys. J.* 2015. V. 813, N 2. Art. # 134.
73. Podgorny A.I., Podgorny I.M., Meshalkina N.S. Dynamics of magnetic fields of active regions in pre-flare states and during solar flares // *Astron. Rep.* 2015. V. 59, N 8. P. 795–805.
74. Polekh N.M., Romanova E.B., Ratovsky K.G., Shi J.K., Wang X., Wang G. Studying the G condition occurrence in different latitudes under solar minimum: Observation and modeling // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 2015. V. 130/131. P. 132–141.
75. Polyachenko V.L., Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Two scenarios of the radial orbit instability in spherically symmetric collisionless stellar systems // *Astron. Lett.* 2015. V. 41, N 1/2. P. 1–13.
76. Polyachenko E.V., Shukhman I.G. On the nature of the radial orbit instability in spherically symmetric collisionless stellar systems // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2015. V. 451, N 1. P. 601–610.
77. Ponomarenko P., Nishitani N., Oinats A.V., Tsuya T., St.-Maurice J.P. Application of ground scatter returns for calibration of HF interferometry data // *Earth Planets Space.* 2015. V. 67. P. 138.
78. Potapov A.S., Polyushkina T., Dovbnya B.V. Use of International Reference Ionosphere 2012 model to calculate emission frequency scale of the ionospheric Alven resonator // *J. Space Weather Space Climate.* 2015. V. 5. P. A14.
79. Ratovsky K.G., Medvedev A.V., Tolstikov M.V. Diurnal, seasonal and solar activity pattern of ionospheric variability from Irkutsk digisonde data // *Adv. Space Res.* 2015. V. 55, N 8. P. 2041–2047.
80. Reznikova V.E., Doorsselaere T. van, Kuznetsov A.A. Perturbations of gyrosynchrotron emission polarization from solar flares by sausage modes: Forward modeling // *Astron. Astrophys.* 2015. V. 575. Art. Id. A47.
81. Romanov D.V., Romanov K.V., Romanov V.A., Kucherov N.V., Eselevich V.G., Eselevich M.V. On the possible reason for the formation of impulsive coronal mass ejections // *Adv. Space Res.* 2015. V. 54, N 3. P. 949–957.
82. Saka O., Hayashi K., Leonovich A.S. Explanation of Pi2 pulsations in auroral zone: Azimuthal propagation of ionospheric loop currents // *J. Geophys. Res.* 2015. V. 120, N 6. P. 4841–4848.
83. Saka O., Hayashi K., Leonovich A.S. Ionospheric loop currents and associated ULF oscillations at geosynchronous altitudes during pre-onset intervals of substorm aurora // *J. Geophys. Res.* 2015. V. 120, N 4. P. 2460–2468.
84. Semenov A.I., Shefov N.N., Medvedeva I.V. Empirical model of variations in the upper atmosphere continuum emission. 3. Emitting layer altitude // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2015. V. 55, N 4. P. 539–546.

85. Semenov A.I., Shefov N.N., Medvedeva I.V., Sukhodoev V.A. Variations in activity of the Sun and stars of the late spectral types on different timescales // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015. V. 55, N 6. P. 699–708.
86. Shcherbakov A.A., Medvedev A.V., Kutelev K.A., Kushnarev D.S., Tolstikov M.V., Alsatkin S.S. Calculation of meridional neutral winds in the middle latitudes from the Irkutsk Incoherent Scatter Radar // *J. Geophys. Res.* 2015. V. 120, N 12. P. DOI:10.1002/2015JA021678.
87. Shindin A., Grach S., Klimenko V.V., Nasyrov I., Sergeev E., Beletsky A.B., Tashchilin M.A., Gumerov R.I. The 630 nm and 557.7 nm airglow during HF ionosphere pumping by the SURA facility radiation for pump frequencies near the Forth electron gyroharmonic // *Radio-physics and Quantum Electronics*. 2015. V. 57, N 11. P. 759–772.
88. Shpynev B.G., Kurkin V.I., Ratovsky K.G., Chernigovskaya M. A., Belinskaya A.Yu., Grigorieva S.A., Stepanov A.V., Bychkov V.V., Pancheva D., Mukhtarov P. High- midlatitude ionosphere response to major stratospheric warming // *Earth Planets Space*. 2015. V. 67, N 2. P. Art. # 18.
89. Shpynev B.G., Churilov S.M., Chernigovskaya M.A. Generation of waves by jet-stream instabilities in winter polar stratosphere/mesosphere // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 2015. V. 136B. P. 201–215.
90. Shukhman I.G., Tewner S., Cohen J. Vertical disturbances in a linearly stratified linear shear flow. 1. Linear theory // *Phys. Fluids*. 2015. V. 27, N 2. Art. # 024103.
91. Shukhman I.G., Tewner S., Cohen J. Vertical disturbances in a linearly stratified linear shear flow. 2. Nonlinear evolution // *Phys. Fluids*. 2015. V. 27, N 2. Art. # 024104.
92. Shulyak D., Sokoloff D.D., Kitchatinov L.L., Moss D. Towards understanding dynamo action in M dwarfs // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2015. V. 449, N 4. P. 3471–3478.
93. Sokoloff D.D., Khlystova A.I., Abramenko V. Solar small-scale dynamo and polarity of sunspot groups // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2015. V. 451, N 2. P. 1522–1527.
94. Sych R.A., Karlicky M., Altyntsev A.T., Dudik J., Kashapova L.K. Sunspot waves and flare energy release // *Astron. Astrophys.* 2015. V. 577. Art. Id. A43.
95. Suvorova A., Huang C.-M., Tsai L.-C., Dmitriev A.V., Ratovsky K.G. Long-duration positive ionospheric storm during the December 2006 geomagnetic storm: Ionizing effect of forbidden electrons // *Adv. Space Res.* 2015. V. 56, N 9. P. 2001–2011.
96. Teplitskaya R.B., Ozhogina O.A., Pipin V.V. Lithium 671 nm line at the polar and equatorial solar limbs // *Astron. Lett.* 2015. V. 41. N 12. P. 848.
97. Tinin M.V. Eliminating diffraction effects during multi-frequency correction in global navigation satellite systems // *J. Geodesy*. 2015. V. 89, N 5. P. 491–503.
98. Tinin M.V. Influence of ionospheric irregularities on GNSS remote sensing // *Adv. in Meteorology*. 2015. V. 2015. Art. # 532015.
99. Tlatov A.G., Dormodontov D.V., Kirpichev R.V., Pashchenko M.P., Shramko A.D., Peshcherov V.S., Grigoryev V.M., Demidov M.L., Svidskii P.M. Study of some characteristics of large-scale solar magnetic fields during the global field polarity reversal according to observations at the Telescope-Magnetograph of Kislovodsk Observatory // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015. V. 55, N 7. P. 969–975.
100. Tomozov V.M., Strokin N.A. A comparative analysis of the efficiency of acceleration of proton and electrons in the laboratory and in solar plasma // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015. V. 55, N 2. P. 152–157.
101. Vargin P., Medvedeva I.V. Temperature and dynamical regimes of the Northern hemisphere extratropical atmosphere during sudden stratospheric warming in winter 2012–2013 // *Izv. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2015. V. 51, N 1. P. 12–28.
102. Vybornov V., Grigorieva I.Yu., Livshits M.A., Ivanov E.F. Evidence of hard X-rays at weak nonstationary processes in active regions // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015. V. 55, N 8. P. 1112–1117.
103. Yasyukevich Yu.V., Zakharov V.I., Kunitsyn V., Voeykov S.V. The response of the ionosphere to the Earthquake in Japan on March 11, 2011 as estimated by different GPS-based methods // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2015. V. 55, N 1. P. 108.

104. Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Polyakova A.S. Estimating the total electron content absolute value from the GPS/GLONASS data // Results in Physics. 2015. V. 5. P. 32–33.
105. Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Kunitsyn V., Padokhin A. Influence of GPS/GLONASS differential code biases on the determination accuracy of the absolute total electron content in the ionosphere // Geomagnetism and Aeronomy. 2015. V. 55, N 6. P. 763–769.
106. Yazev S.A. Activity complexes on the Sun in solar cycle 24 // Astron. Rep. 2015. V. 59, N 3. P. 228–237.
107. Zagainova Yu., Fainshtein V.G. How do fast impulse CMEs related to powerful flares but unrelated to eruptive filaments appear and move? // Adv. Space Res. 2015. V. 54, N 3. P. 822–834.
108. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Obridko V.N. Comparison of the properties of leading and trailing sunspots // Geomagnetism and Aeronomy. 2015. V. 55, N 1. P. 13.
109. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Rudenko G.V., Obridko V.N. A comparative analysis of the properties of the magnetic fields in leading and trailing sunspots // Astron. Rep. 2015. V. 59, N 2. P. 156–164.
110. Zakharov V.I., Khamidullin A.F. Estimation of the parameters of wave disturbances in the ionosphere by the joint use of GPS interferometry and vertical sounding data // Moscow University Physics Bull. 2015. V. 70, N 1. P. 68–74.
111. Zhdanov D.A., Zandanov V.G. Observations of microwave fine structures by the Boundary broadband microwave spectropolarimeter and the Siberian Solar Radio Telescope // Solar Phys. 2015. V. 290, N 1. P. 287–294.
112. Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Kurkin V.I., Romanova E.B. Ionospheric effects of solar flares and their associated particle ejections in March 2012 // Adv. Space Res. 2015. V. 55, N 12. P. 2851–2862.
113. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Спектры энергий и свойства солнечных энергичных частиц // Изв. Национальной Академии Наук Республики Казахстан. 2015. № 5. Вып. 303. С. 60–64.

### 8.3. Доклады в сборниках российских конференций

1. Дерес А.С., Анфиногентов С.А. Измерение средней скорости звука и расстояний между уровнями атмосферы солнечных пятен по наблюдениям трехминутных колебаний // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Труды. СПб., 2015. С. 113–116.
2. Григорьева И.Ю., Кузнецов А.А., Мешалкина Н.С., Мышияков И.И. Многоволновые наблюдения вспышки 10 мая 2012: ускорение частиц и всплытие магнитного поля // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Труды. СПб., 2015. С. 99–102.
3. Гульельми А.В., Потапов А.С., Довбня Б.В. Ключевая роль межпланетного магнитного поля в формировании режима колебаний магнитосферы Земли // Триггерные эффекты в геосистемах (Москва, 16–19 июня 2015 г.): Материалы третьего Всероссийского семинара-совещания / Под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М.: ГЕОС. 2015. С. 328–334.
4. Еселеевич М.В. 1,6-метровый широкоугольный телескоп АЗТ-33ВМ: текущее состояние и перспективы использования в проблеме АКО // Совещание «Средства и методы обнаружения опасных небесных тел». ИНАСАН, Москва, 25 марта 2015 г.: доклад. 2015. <http://astronomer.ru/publications.php?act=view&id=155>.
5. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н., Анфиногентов С.А. Вариации магнитного поля в тени одиночных и магнитно-связанных пятен при их прохождении по диску Солнца // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Труды. СПб., 2015. С. 145–148.
6. Кальтман Т.И., Кочанов А.А. Исследование характеристик и особенностей радиоизлучения усиленной хромосферной сетки Солнца на основе реалистичной МГД-модели // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Труды. СПб., 2015. С. 189–192.

7. Карабанян А.А., Молодых С.И. Оценка эволюции воздушных масс при разных геомагнитных условиях // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Труды. СПб., 2015. С. 193–196.
8. Крюковский А.С., Куркин В.И., Ларюнин О.А., Лукин Д.С., Подлесный А.В., Растворяев Д., Черняк Я.М. Численное моделирование амплитудных карт для скорректированной модели IRI-2012 с периодическим возмущением ионосферы // V Всеросс. науч. конф. «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике». Муром, 29 июня – 1 июля 2015 г.: Труды. Муром, 2015. С. 231–235.
9. Лебедев В.П., Хахинов В.В., Кушнарев Д.С., Корсун А.Г., Куршаков М.Ю., Твердохлебова Е.М., Манжелей А.И. Исследование отражательных характеристик ТГК «Прогресс» во время работы бортовых ЖРД // Труды XXIX Всерос. симпозиум «Радиолокационное исследование природных сред». 25–26 марта 2015 г., Санкт-Петербург. СПб., 2015.
10. Лебедев В.П., Хахинов В.В., Потехин А.П., Кушнарев Д.С., Куршаков М.Ю., Твердохлебова Е.М. Радиолокационные характеристики ТГК «Прогресс» во время работы бортовых ЖРД // Труды XXIX Всерос. симпозиум «Радиолокационное исследование природных сред». 25–26 марта 2015 г., Санкт-Петербург. СПб., 2015.
11. Тлатов А.Г., Свидский П.М., Понявин Д.И., Пещеров В.С. Прогноз параметров солнечного ветра по данным наблюдений магнитографа СТОП // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Труды. СПб., 2015. С. 351–354.
12. Тясто М.И., Данилова О.А., Сдобнов В.Е. Жесткости обрезания космических лучей в период геомагнитной бури в марте 2012 г. и их связь с параметрами солнечного ветра и ММП // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Труды. СПб., 2015. С. 355–358.
13. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И., Руденко Г.В., Анфиногентов С.А. Вариации магнитного поля, сопровождающие возникновение КВМ, связанного с эruptionью волокна // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Труды. СПб., 2015. С. 359–362.
14. Файнштейн В.Г., Пичуев В.А., Егоров Я.И., Загайнова Ю.С. Кинематика КВМ и связанных ударных волн по данным LASCO: сравнительный анализ // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Труды. СПб., 2015. С. 363–366.

#### 8.4. Доклады в сборниках международных конференций

1. Afanasiev A.N. Nonlinear effects in the shock-associated EUV wave propagation // Solar Atmospheric Magnetic Connectivity. Warwick–Monash Meeting and Physics Day. 23–25 February, 2015, Great Britain: Report. 2015. [http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/cfsa/people/nistico/openday\\_warwick-monash/](http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/cfsa/people/nistico/openday_warwick-monash/)
2. Bezler I.V., Ishin A.B., Konetskaya E.V., Kulizhsky A.V., Tinin M.V., Voeykov S.V. Geomagnetic effects on GNSS measurements // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2021–2025.
3. Botygina N.N., Kopylov E.A., Lukin V.P., Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu. Variability of the atmospheric turbulence in the region of Lake Baikal // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. “Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics”. P. 96806E.
4. Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Ratovsky K.G., Stepanov A.E. The stratosphere jet stream effects in high-latitude ionosphere according to vertical radio sounding data // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2562–2566.
5. Churilov S.M. Linear stability of a three-layer stratified shear flow with an inflection – free velocity profile // Intern. Conf. “Fluxes and Structures in Fluids”: Proceedings. 2015. P. 49–52.
6. Demyanov V.V., Yasyukevich Yu.V., Kashkina T.V. Analysis of speed and accelera-

tion of GPS/GLONASS phase in the polar ionosphere // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2544–2547.

7. Edemskiy I.K., Perevalova N.P., Polyakova A.S., Timofeeva O.V., Katashevtsva D.D. Comparative analysis of geomagnetic field and GPS–TEC variations for middle-latitude and Arctic regions // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 1999–2003.

8. Karakhanyan A. A., Molodykh S.I. Variations in vertical temperature profile of extra-tropical cyclones under different environmental conditions // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. “Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics”. P. 96806D.

9. Khabituev D.S., Shpynev B.G. Variations of O+/H+ transition height over East Siberia from joint analysis of Irkutsk incoherent scatter data and GPS total electron content // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2553–2556.

10. Kirichenko K., Belousova E.P., Kovalenko V.A. Wind - stress effect on the relationships between sea surface temperature and geomagnetic activity // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. “Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics”. P. 96805T.

11. Klibanova Y., Mishin V.M., Tsegmed B., Moiseyev A. Influence of slope of the solar wind inhomogeneity front on properties of long-period pulsations during SSC // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Proceedings. Apatity, 2015. P. 11–14. <http://pgia.ru:81/seminar/archive/>

12. Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu. The study of turbulence and optical instability in stably stratified Earth's atmosphere // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. “Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics”. P. 968074.

13. Kopylov E.A., Bol'basova L.A., Goleneva N.V., Lavrinov V.V., Shikhovtsev A.Yu. Investigation of parameters of image quality for adaptive optical systems of BSVT // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. “Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics”. P. 96801O.

14. Kurbatov G., Kunitsyn V., Padokhin A., Yasyukevich Yu.V. TEC response to geomagnetic storms and solar flares as observed with SBAS L1/15 signals // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2004–2007.

15. Kurkin V.I., Polekh N.M., Ponomarchuk S.N., Podlesny A.V., Zolotukhina N.A., Romanova E.B. Characteristics of HF radio wave propagation along subauroral and mid-latitude paths over Eastern Siberia during magnetoactive period in February 2014 // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 1995–1998.

16. Laryunin O.A., Kurkin V.I., Podlesny A.V. Numerical simulation of vertical and oblique ionospheric sounding // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. “Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics”. P. 96805K.

17. Leonovich L.A., Tashchilin A.V., Leonovich V. A., Matafonov G.K. Possible electron precipitation effects in the night time mid-latitude atmosphere // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. “Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics”. P. 96806G.

18. Lunyushkin S.B., Berngardt O.I., Mishin V.M., Shirapov D.Sh. The electric potential distribution in the disturbed polar ionosphere: Comparison of statistical models with the data of selected substorm intervals // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Proceedings. Apatity, 2015. P. 20–23. <http://pgia.ru:81/seminar/archive/>

19. Mishin V.V., Karavaev Yu.A., Han J.P., Wang C. The saturation effect of the Poynting

flux into the magnetosphere during superstorms: Results of MIT and global PPMLR-MHD model // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena". Apatity, March 2–6, 2015: Proceedings. Apatity, 2015. P. 40–43. <http://pgia.ru:81/seminar/archive/>

20. Mishin V.M., Mishin V.V., Kurikalova M.A., Karavaev Yu.A., Berngardt, O.I. Field-aligned current dynamics during two substorms of summer and winter types and model for the electric circuit of the magnetosphere–ionosphere system of two hemispheres // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena". Apatity, March 2–6, 2015: Proceedings. Apatity, 2015. P. 28–31. <http://pgia.ru:81/seminar/archive/>

21. Mishin V.M., Kurikalova M.A., Mishin V.V., Wang C., Wang J. Field-aligned current dynamics in two selected intervals of the 6 April 2000 superstorm // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena". Apatity, March 2–6, 2015: Proceedings. Apatity, 2015. P. 24–27. <http://pgia.ru:81/seminar/archive/>

22. Oinats A.V., Kutelev K.A., Kurkin V.I. Simulation of HF ground backscatter measured by Ekaterinburg SuperDARN Radar. Comparison with observations // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2567–2571.

23. Oinats A.V., Kutelev K.A., Berngardt O.I., Kurkin V.I. Correction of the Ekaterinburg SuperDARN data mapping using ionospheric vertical sounding // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2572–2575.

24. Oinats A.V., Kurkin V.I., Nishitani N. Statistical study of medium-scale traveling ionospheric disturbances using SuperDARN Hokkaido ground backscatter data for 2011 // Selected Publications from the SCOSTEP/CAWSES II Project. CAWSES-II. Towards Solar Maximum. 2015. P. 474–482.

25. Penzin M.S., Ilyin N.V. The modeling of frequency Doppler shift in multibeam weakly non-stationary radio channels // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. "Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics". P. 96801R.

26. Polyakova A.S., Chernigovskaya M.A., Mylnikova A.A. The study of the ionospheric dynamics during strong sudden stratospheric warmings in the Russia's Arctic region // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2557–2561.

27. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kim A.G., Kotovich G.V., Podlesny A.V. The near real-time diagnostics of ionosphere parameters at the middle point of the radio path on the base of oblique sounding data // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. "Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics". P. 96805E.

28. Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Lyakhov A.N., Romanova E.B., Tashchilin A.V. The modeling of HF radio wave propagation characteristics during the periods of solar flares // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. "Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics". P. 96805F.

29. Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Polekh N.M., Podlesny A.V., Zolotukhina N.A., Romanova E.B. The effects of space weather for HF propagation in the period of solar flare on 25 February 2014 // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. "Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics". P. 96805G.

30. Ponomarchuk S.N., Polekh N.M., Romanova E.B., Zolotukhina N.A., Kurkin V.I., Podlesny A.V. The disturbances of ionospheric radio channel during magnetic storm on March 17–19, 2015 // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. "Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics". P. 96805H.

31. Potapov A.S., Polyushkina T., Oinats A.V., Raita T., Tsegmed B. Adaptation of IRI-2012 model for estimation of IAR harmonic structure // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2012–2016.

32. Potapov A., Ryzhakova L. A new approach to prediction and estimate of HSS-associated enhancements of "killer" electron flux at geosynchronous orbit // 66th International Astronautical Congress, Jerusalem, Israel. 2015. ISSN 1995-6258. IAC-15-D5.3.9. Paper ID 29094.

33. Ratovsky K.G., Oinats A.V., Nishitani N. Comparison of polar, sub-polar and mid-latitude ionospheric variability using ionosonde and SuperDARN data // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2017–2020.
34. Shpynev B.G., Zherebtsov G.A., Voronov A.L., Khabituev D.S. The possibility for full profile incoherent scatter data processing on the base of the simplex processor algorithm // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2539–2543.
35. Shpynev B.G., Kurkin V.I., Ratovsky K.G., Chernigovskaya M.A., Belinskaya A.Yu., Grigorieva S.A., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Panchenko V.A., Korenkova N.A., Leschenko V.S. Ionosphere response to stratospheric circulation in high latitudes // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2534–2538.
36. Shpynev B.G., Kurkin V.I., Ratovsky K.G., Chernigovskaya M. A., Belinskaya A.Yu., Grigorieva S.A., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Pancheva D., Mukhtarov P. High-midlatitude ionosphere response to major stratospheric warming // Selected Publications from the SCOSTEP/CAWSES II Project. CAWSES - II. Towards Solar Maximum. 2015. P. 464–473.
37. Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Kunitsyn V., Padokhin A. Estimation of GPS/GLONASS differential code biases and their long-time variations // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 2548–2552.
38. Zakharov V.I., Yasyukevich Yu.V., Titova M.A. Magnetic storms at high latitudes and slips in GPS operating // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Proceedings. Prague, 2015. P. 1991–1994.
39. Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Kirichenko K. Main physical processes and mechanisms responsible for the observable climate changes in the 20–21<sup>st</sup> centuries // Proc. SPIE. Bellingham, WA: SPIE, 2015. V. 9680: 21<sup>st</sup> Intern. Symp. “Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics”. P. 968057.
40. Алсаткин С.С., Медведев А.В., Ратовский К.Г. Суточно-сезонные вариации электронной концентрации во внешней ионосфере по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 92–95. CD-ROM.
41. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова, Е.В., Мордвинов В.И. Изменение пространственной структуры и интенсивности летнего восточноазиатского муссона в периоды атмосферного блокирования над Азией // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 280–285. CD-ROM.
42. Афанасьев А.Н. Период отсечки медленных магнитозвуковых волн в корональных плазменных структурах // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 7–9. CD-ROM.
43. Белецкий А.Б., Михалев А.В., Тацкин М.А., Татарников А.В. Оценка эффективности использования спектрографа SHAMROCK SR-303i для регистрации излучения верхней атмосферы в средних и высоких широтах // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D60–D63. CD-ROM.
44. Белоусова Е.П., Коваленко В.А., Кириченко К.Е. Исследование особенностей влияния ветрового напряжения на температуру поверхности океана // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D329–D332. CD-ROM.
45. Вдовин Е.М., Книжин С.И., Мыльникова А.А., Сажин В.И. Расчет текущих значений полного электронного содержания ионосферы на основе корректируемой среднемесяч-

ной модели // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 223–225. CD-ROM.

46. Глоба М.В., Васильев Р.В., Кушнарев Д.С., Медведев А.В. Интерферометрические наблюдения мерцаний дискретного радиоисточника на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 226–229. CD-ROM.

47. Гречнев В.В., Киселев В.И., Мешалкина Н.С. Соотношение между параметрами солнечных эруптивных событий и околоземных протонных возрастаний высоких энергий // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 18–20. CD-ROM.

48. Григорьева С.А., Турова И.П., Ожогина О.А. Форма контуров линии К CaII и колебания в солнечной атмосфере в основании корональной дыры // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск – Улан-Батор, 2015. Вып. 8: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 29 сентября – 3 октября 2014 г. С. 50–54.

49. Грозов В.П., Бубнова Т.В., Подлесный А.В. Выделение периодичностей на амплитудных картах как способ анализа динамических процессов в ионосфере // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D316–D319. CD-ROM.

50. Грозов В.П., Демьянов М.О. Системы сбора и передачи ионосферных данных ИСЗФ СО РАН // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D325–D328. CD-ROM.

51. Дегтярев В.И., Попов Г.В., Чудненко С.Э. Прогноз геомагнитных бурь на 2015–2021 гг. // Шестая Международная научно-практическая конференция «Транспортная инфраструктура Сибирского региона»: Материалы. Иркутск, 30 сентября – 3 октября 2015 г. Иркутск, 2015. Т. 1. С. 306–310.

52. Демидов М.Л., Григорьев В.М., Чупраков С.А., Колобов Д.Ю., Скоморовский В.И., Ковадло П.Г., Пуляев В.А. Проект Национального Российского крупного солнечного телескопа с диаметром зеркала 3 м // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск – Улан-Батор, 2015. Вып. 8: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 29 сентября – 3 октября 2014 г. С. 55–67.

53. Дерес А.С., Анфиногентов С.А., Мышияков И.И. Использование наблюдений трехминутных колебаний для измерения скорости звука и высот формирования излучения в атмосфере солнечных пятен // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 21–23. CD-ROM.

54. Егоров Я.И., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В., Анфиногентов С.А. Особенности вариаций фотосферного магнитного поля в области генерации КВМ 7 июня 2011 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 24–26. CD-ROM.

55. Жеребцов Г.А. Основные физические процессы и механизмы, ответственные за наблюдаемые изменения климата в XX–XXI веке // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. Р7–Р15. CD-ROM.

56. Иванова В.А., Куркин В.И., Чистякова Л.В., Пежемская М.Д., Подлесный А.В., Думбрава З.Ф. Исследование среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений на трассе Хабаровск–Торы // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы

и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. С433–С436; D462–465. CD-ROM.

57. Караканян А.А., Молодых С.И. Изменение вертикального профиля температуры внутропических циклонов при разных внешних условиях // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D442–D445. CD-ROM.

58. Кашкина Т.В., Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В. Вторая производная фазы по времени как индикатор тонкой структуры ионосферы // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 115–117. CD-ROM.

59. Кириченко К.Е. Изменчивость температуры поверхности океана на различных временных масштабах // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 309–312. CD-ROM.

60. Клибанова Ю.Ю., Мишин В.В., Цэгмэд Б. Особенности дневных длиннопериодных пульсаций во время внезапных импульсов SI и мгновенных начал бурь SSC // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск – Улан-Батор, 2015. Вып. 8: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 29 сентября – 3 октября 2014 г. С. 14–18.

61. Клименко М.В., Клименко В.В., Захаренкова И.Е., Ратовский К.Г. Влияние термосферы и плазмосферы на формирование ионосферных возмущений на различных фазах геомагнитных бурь // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 124–126. CD-ROM.

62. Кобелев П.Г., Преображенский М.С., Абунин А.А., Абунина М.А., Смирнов Д.В., Луковникова А.А. Барометрический эффект нейтронной компоненты космических лучей на антарктической станции «Мирный» с учетом ветра // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 29–32. CD-ROM.

63. Ковадло П.Г., Язев С.А. Климатические изменения в нижних слоях атмосферы Земли // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. С251–С254; D19–D22. CD-ROM.

64. Копылов Е.А., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Исследование изменчивости атмосферной турбулентности в районе озера Байкал // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 319–321. CD-ROM.

65. Кочанов А.А., Морозова А.Д., Синеговская Т.С., Синеговский С.И. Источники атмосферных электронных нейтрино // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 56–59. CD-ROM.

66. Кочеткова О.С., Погорельцев А.И., Мордвинов В.И. Влияние возмущений в низкоширотной тропосфере на динамические процессы во внутропической стратосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 322–325. CD-ROM.

67. Кудрявцева А.В., Просовецкий Д.В. Источники мелкомасштабных неоднородностей в солнечном ветре и динамические параметры потоков солнечного ветра во внешней короне Солнца // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундамен-

тальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 33–35. CD-ROM.

68. Куницын В.Е., Курбатов Г.А., Падохин А.М., Ясюкевич Ю.В. Сравнительный анализ шумов в оценках полного электронного содержания ионосферы по данным приема сигналов геостационарных навигационных спутников // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 139–141. CD-ROM.

69. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Долговременные изменения в нейтральном газовом составе термосферы // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D320–D324. CD-ROM.

70. Ларюнин О.А., Куркин В.И., Подлесный А.В. О численном синтезе ионограмм вертикального и наклонного зондирования // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D182–D185. CD-ROM.

71. Ларюнин О.А., Куркин В.И. О признаках перемещающихся ионосферных возмущений на ионограммах // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 142–144. CD-ROM.

72. Латышев С.В., Олемской С.В. NS-асимметрия пятнообразования и амплитуда 11-летнего цикла // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 40–41. CD-ROM.

73. Леонович Л.А., Тащилин А.В., Леонович В.А., Матафонов Г.К. Возможные эффекты высыпания электронов в ночной среднеширотной атмосфере // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D149–D152. CD-ROM.

74. Лоптева Л.С. Фазовые пластинки из полимерных материалов для поляризационных измерений // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 45–47. CD-ROM.

75. Мишин В.М., Мишин В.В., Караваев Ю.А., Лунюшкин С.Б., Базаржапов А.Д., Сухбатаар У. Энергетика суббури: новые источники // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск – Улан-Батор, 2015. Вып. 8: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 29 сентября – 3 октября 2014 г. С. 7–13.

76. Молодых С.И. Влияние интегрирующих свойств климатической системы на связь геомагнитной активности с температурой // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D418–D421. CD-ROM.

77. Мордвинов А.В., Головко А.А., Язев С.А., Батмунх Д., Лхагважав Ч. О вкладе комплексов активности и процесс инверсии магнитного поля на полюсах Солнца в 24 цикле // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск – Улан-Батор, 2015. Вып. 8: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 29 сентября – 3 октября 2014 г. С. 32–37.

78. Мыльникова А.А., Ясюкевич Ю.В. Особенности определения абсолютного ПЭС в различных точках земного шара // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015.

С. 148–150. CD-ROM.

79. Науменко А.А., Подлесный А.В. Результаты измерения передаточной функции четырехполюсника с помощью ЛЧМ-сигнала // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 246–248. CD-ROM.

80. Пензин М.С., Ильин Н.В. Моделирование доплеровского сдвига частоты в многолучевых слабонестационарных радиоканалах // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. В130–В136. CD-ROM.

81. Пензин М.С., Ильин Н.В. Моделирование доплеровского смещения частоты в нестационарном однородном радиоканале на основе метода нормальных волн // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 160–162. CD-ROM.

82. Пензин М.С., Пономарчук С.Н., Ильин Н.В. Модель распространения радиоволн для диапазона частот 2–10 МГц на основе метода нормальных волн // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 163–165. CD-ROM.

83. Перевалова Н.П., Едемский И.К., Тимофеева О.В., Каташевцева Д.Д., Полякова А.С. Исследование уровня возмущенности полного электронного содержания в среднеширотном и арктическом регионах по данным GPS // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 166–168. CD-ROM.

84. Перевалова Н.П., Романова Е.Б., Каташевцева Д.Д., Тимофеева О.В. Исследование пространственного распределения полного электронного содержания в высокосиротной ионосфере с помощью спутников GPS // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 169–171. CD-ROM.

85. Подлесный С.В., Михалев А.В. Спектрофотометрия среднеширотных сияний, наблюдавшихся в регионе Восточной Сибири во время магнитных бурь 27 февраля 2014 г. и 17 марта 2015 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 175–177. CD-ROM.

86. Полякова А.С., Мыльникова А.А. Исследование динамики ионосферы в периоды внезапных стратосферных потеплений в арктическом регионе России // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 178–180. CD-ROM.

87. Полякова А.С., Ясюкевич Ю.В. Усиление возмущений полного электронного содержания в зоне действия тайфунов в ночное время // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 181–183. CD-ROM.

88. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Ким А.Г., Котович Г.В., Подлесный А.В. Оперативная диагностика параметров ионосферы в средней точке радиотрассы по данным НЗ // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D153–D157. CD-ROM.

89. Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Романова Е.Б., Ташилин А.В., Ляхов А.Н. Моделирование характеристик распространения КВ-радиоволн в периоды солнечных вспышек // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D158–D162. CD-ROM.
90. Пономарчук С.Н., Полех Н.М., Романова Е.Б., Золотухина Н.А., Куркин В.И., Подлесный А.В. Возмущения ионосферного радиоканала в период магнитной бури 17–24 марта 2015 г. // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D163–D166. CD-ROM.
91. Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Полех Н.М., Подлесный А.В., Золотухина Н.А., Романова Е.Б. Эффекты космической погоды в КВ-распространении в период солнечной вспышки 25 февраля 2014 года // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D186–D190. CD-ROM.
92. Рахматулин Р.А., Липко Ю.В., Пашинин А.Ю., Алешков В.М. Мониторинг геомагнитного поля в зоне Байкало - Хубсугульского разлома // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск – Улан-Батор, 2015. Вып. 8: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 29 сентября – 3 октября 2014 г. С. 100–103.
93. Руднева М.А., Мордвинов В.И., Девятова Е.В. Связь процессов в экваториальной тропосфере с динамикой стратосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 346–348. CD-ROM.
94. Саньков В.А., Добрынина А.А., Чечельницкий В.В., Рахматулин Р.А., Липко Ю.В., Перевалова Н.П. Вариации сейсмического и микросейсмического режимов Байкальской впадины в связи с проявлениями геомагнитных бурь // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск – Улан-Батор, 2015. Вып. 8: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 29 сентября – 3 октября 2014 г. С. 111–115.
95. Седых П.А. Эквивалентная эл. схема цепи магнитосферно - ионосферно - атмосферного взаимодействия // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. D373–D376. CD-ROM.
96. Сетов А.Г., Медведев А.В., Кушнарев Д.С., Васильев Р.В., Лебедев В.П. Исследование возможностей антенной системы нового радара НР-МСТ при различных режимах работы // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 188–190. CD-ROM.
97. Ташлыков В.П., Васильев Р.В., Медведев А.В., Щербаков А.А. Регрессионный метод определения температур по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 191–198. CD-ROM.
98. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Заруднев В.Е. Исследование и оценка некоторых ключевых параметров фотометра для совместной работы с ИРНР // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 199–202. CD-ROM.
99. Турова И.П. Особенности колебаний на разных уровнях солнечной атмосферы в основании корональных дыр // Современная геодинамика и опасные природные процессы

в Центральной Азии. Иркутск – Улан-Батор, 2015. Вып. 8: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 29 сентября – 3 октября 2014 г. С. 38–49.

100. Цаюкова А.Г. Электрооптический модулятор поляризованного излучения // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 78–82. CD-ROM.

101. Цэгмэд Б., Мунгуншагай М. К вопросу об обработке геомагнитных измерений // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск – Улан-Батор, 2015. Вып. 8: Труды X Российско-Монгольской конференции «Солнечно-земная физика и сейсмогеодинамика Байкало-Монгольского региона». Улан-Батор, Монголия, 29 сентября – 3 октября 2014 г. С. 23–28.

102. Чурилов С.М. О резонансных механизмах неустойчивости сдвиговых течений // 6-я Международная научная школа молодых ученых «Волны и вихри в сложных средах». Калининград, 21–23 июня 2015 г.: Материалы. 2015. С. 187–191.

103. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г. Исследование турбулентности и оптической нестабильности в условиях устойчивой термической стратификации атмосферы // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Материалы. Томск, 2015. С. B274–B280. CD-ROM.

104. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Копылов Е.А. Об астроклиматических условиях в горных регионах юга Восточной Сибири // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 313–315. CD-ROM.

105. Щербаков А.А., Медведев А.В., Кушнарев Д.С. Сезонные вариации скорости нейтрального меридионального ветра на ионосферных высотах в средних широтах Сибирского региона // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 205–208. CD-ROM.

106. Яковлева О.Е., Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М. Основные газовые составляющие термосферы  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  в годы минимума солнечной активности (2007–2009 гг.) на станции «Норильск» // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 209–211. CD-ROM.

107. Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В. Использование технологии графов для ионосферных исследований // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Труды. Иркутск, 2015. С. 212–213. CD-ROM.

108. Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Куницын В.Е., Падохин А.М. Оценка динамики дифференциальных кодовых задержек в каналах ГЛОНАСС и GPS // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Proceedings. Apatity, 2015. P. 173–176. <http://pgia.ru:81/seminar/archive/>

## 8.5. Тезисы докладов на российских конференциях

1. Алешков В.М., Едемский И.К., Липко Ю.В., Молодых С.И., Пашинин А.Ю., Рахматулин Р.А. Синхронные вариации атмосферного электричества, геомагнитных пульсаций и полного электронного содержания на комплексе обсерваторий ИСЗФ СО РАН // Глобальная электрическая цепь. Материалы Второй Всеросс. конф. «Борок», 5–9 октября 2015 г. Ярославль, 2015. С. 129. <http://geodata.borok.ru/resources/gec/docs/2015/book-GEC-2015.pdf>.

2. Алсаткин С.С., Медведев А.В., Ратовский К.Г. Исследование суточно-сезонных вариаций электронной концентрации на высотах 200–400 км в 2007–2014 гг. по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)
3. Анфиногентов С.А., Накаряков В.М., Nistico G. Незатухающие изгибные колебания корональных петель — повсеместное явление в солнечной короне // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 3.
4. Анфиногентов С.А., Дерес А.С. Исследование высотной стратификации атмосферы тени солнечного пятна по наблюдениям трехминутных колебаний // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 22.
5. Бернгардт О.И., Перевалова Н.П., Воейков С.В., Кутелев К.А., Шестаков Н.В., Загретдинова Р.В., Бахтияров В.Г., Кусонский О.А. Динамические и азимутальные характеристики ионосферных эффектов по данным сетей GPS-приемников и когерентного радара декаметрового диапазона на расстояниях до 1500 км от места падения метеорита «Челябинск» // Третий Всеросс. семинар-совещание «Триггерные эффекты в геосистемах». 16–19 июня 2015 г., Москва: Тез. докл. М., 2015. С. 15.
6. Бородкова Н.Л., Есевевич В.Г., Есевевич М.В., Застенкер Г.Н., Щафранкова Я., Немечек З., Прех Л. О возможном механизме возникновения колебаний, опережающих рамп межпланетной ударной волны // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 58.
7. Головко А.А., Салахутдинова И.И. Исследование процессов выхода нового магнитного потока методом мультифрактального сегментирования // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 25.
8. Головко А.А. Методы диагностики новых магнитных потоков для практической оценки вспышечного потенциала активных областей // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 25.
9. Григорьева И.Ю., Кузнецов А.А., Мешалкина Н.С., Мышияков И.И. Многоволновые наблюдения вспышки 10 мая 2012: ускорение частиц и всплытие магнитного поля // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>
10. Данилова О.А., Тясто М.И., Сдобнов В.Е. Жесткости обрезания космических лучей в период геомагнитной бури в марте 2012 г. Их связь с параметрами солнечного ветра и ММП // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>
11. Дерес А.С., Анфиногентов С.А. Использование наблюдений трехминутных колебаний для измерения скорости звука и высот формирования излучения в атмосфере солнечных пятен // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>
12. Есевевич В.Г., Есевевич М.В., Зимовец И.В., Садыков В.В. О возможной причине тонкого расщепления гармоник радиоизлучения II-го типа // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 6.
13. Есевевич В.Г., Пархомов В.А., Бородкова Н.Л., Есевевич М.В. Геомагнитный отклик на взаимодействие магнитосферы с волокном солнечной плазмы // Десятая ежегод-

ная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 132.

14. Живетьев И.В., Ясюкевич Ю.В. Теория графов для исследования ионосферы // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

15. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н. Исследование суточных вариаций магнитных свойств тени магнитно-связанных и одиночных пятен в активных областях в отсутствие в них мощных вспышечных и эруптивных событий // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 7.

16. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н., Руденко Г.В., Анфиногентов С.А. Вариации магнитного поля в тени одиночных и магнитно-связанных пятен при их прохождении по диску Солнца // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. С. 29. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>

17. Захаров В.И., Ясюкевич Ю.В., Титова М.А. Влияние магнитных бурь на сбои навигационной системы GPS в высоких широтах // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 75.

18. Захаров В.И., Ясюкевич Ю.В., Титова М.А. Влияние магнитных бурь на сбои навигационной системы GPS в высоких широтах // XII конф. мол. ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 13–15 апреля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. С. 129. <http://kmu.cosmos.ru/>

19. Захаров В.И., Ясюкевич Ю.В., Титова М.А. Сравнительный анализ сбоев сопровождения сигнала GPS/ГЛОНАСС в высоких широтах // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

20. Иванова В.А., Куркин В.И., Думбрава З.Ф., Поддельский И.Н. Исследование спорадического слоя Es по данным наклонного зондирования // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

21. Иванова В.А., Куркин В.И. Анализ ионосферных условий распространения кругосветных радиосигналов на трассе Иркутск–Торы в декабре 1997 г. // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

22. Ишин А.Б., Воейков С.В. Ионосферный отклик на включение двигателей космического аппарата «Прогресс» по данным ГЛОНАСС/GPS // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

23. Ишин А.Б., Воейков С.В. Ракурсные и геомагнитные эффекты в ГНСС-изменениях // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

24. Ишин А.Б., Воейков С.В. Ракурсные и геомагнитные эффекты в GPS-радиозондировании ионосферы // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

25. Кальтман Т.И., Кочанов А.А. Исследование характеристик и особенностей радиоизлучения усиленной хромосферной сетки Солнца на основе реалистической МГД-модели // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>
26. Карабанян А.А., Молодых С.И. Оценка эволюции воздушных масс при разных геомагнитных условиях // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>
27. Кашкина Т.В., Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В. Нестационарные вариации параметров фазы несущей трансионосферного сигнала в условиях нерегулярных возмущений ионосферы // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)
28. Кичатинов Л.Л. Меридиональная циркуляция на Солнце и звездах // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>
29. Кичатинов Л.Л., Олемской С.В. Насыщение магнитной активности быстро врашающихся звезд // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>
30. Кичигин Г.Н., Мирошниченко Л.И., Сидоров В.И., Язев С.А. Ускорение частиц в скин-слое эруптивного магнитного жгута на Солнце и наблюдаемые восходящие потоки плазмы // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 37.
31. Клименко В.В., Клименко М.В., Карпачев А.Т., Захаренкова И.Е., Веснин А.М., Ратовский К.Г., Галкин И.А. Структура долготных, UT- и LT-вариаций параметров ионосферы и плазмосферы Земли в спокойных условиях и во время геомагнитных бурь // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 76.
32. Клименко М.В., Клименко В.В., Бессараб Ф., Ратовский К.Г., Захаренкова И.Е., Ясюкевич Ю.В., Котова Д.С., Носиков И.А. Сходство и различие возмущений  $f_0F2$  и ТЕС во время геомагнитных бурь — влияние плазмосферы // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 77.
33. Колобов Д.Ю., Киелов А.В., Пещеров В.С., Демидов М.Л., Григорьев В.М. Использование новых средств измерения солнечных магнитных полей // Всеросс. науч.-практ. конф. «Космодром «Восточный» и перспективы развития российской космонавтики». Тез. докл. Углегорск, Благовещенск, Москва, 2015. С. 143–144.
34. Кудрявцева А.В., Просовецкий Д.В. Исследование динамических и пространственных характеристик неоднородностей в солнечном ветре на расстояниях от 3.5 до 16 солнечных радиусов по данным КА STEREO // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 51–52.
35. Куприянова Е.Г., Кашапова Л.К., Ратклифф Х., Мягкова И.Н. О двух возможных сценариях квазипериодических пульсаций в солнечной вспышке с необычной пространственной динамикой // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>
36. Курт В.Г., Юшков Б.Ю., Галкин В.И., Кудела К., Кашапова Л.К., Мешалкина Н.С. Сопоставление динамики спектра ускоренных протонов с изменением пространственной структуры вспышечной области в импульсной фазе мощных солнечных вспышек // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля

2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 20.

37. Лебедев В.П., Хахинов В.В., Кушнарев Д.С., Корсун А.Г., Куршаков М.Ю., Твердохлебова Е.М., Манжелей А.И. Исследование отражательных характеристик ТГК «Прогресс» во время работы бортовых ЖРД // XXIX Всеросс. симпозиум «Радиолокационное исследование природных сред». 25–26 марта 2015 г., Санкт-Петербург: Программа и тез. докл. СПб., 2015. [http://rlips.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=122&Itemid=169](http://rlips.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=122&Itemid=169)

38. Лебедев В.П., Хахинов В.В., Потехин А.П., Кушнарев Д.С., Куршаков М.Ю., Твердохлебова Е.М. Радиолокационные характеристики ТГК «Прогресс» во время работы бортовых ЖРД // XXIX Всеросс. симпозиум «Радиолокационное исследование природных сред». 25–26 марта 2015 г., Санкт-Петербург: Программа и тез. докл. СПб., 2015. [http://rlips.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=122&Itemid=169](http://rlips.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=122&Itemid=169)

39. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование изменчивости параметров нейтральной верхней атмосферы и ионосферы по данным спектрометрических измерений и радиозондирования // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г. Москва, ИКИ РАН: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

40. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Изменение отношения Fe/O в периоды возмущенной стадии развития потоков СКЛ. Проявления FIP-эффекта в составе СКЛ // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 33.

41. Молодых С.И., Алешков В.М. Анализ влияния метеопараметров на измерения градиента потенциала статистическим флюксометром // Глобальная электрическая цепь. Материалы Второй Всеросс. конф. Борок, 5–9 октября 2015 г. Ярославль, 2015. С. 112. <http://geodata.borok.ru/resources/gec/docs/2015/book-GEC-2015.pdf>.

42. Перевалова Н.П., Романова Е.Б., Каташевцева Д.Д., Тимофеева О.В. Регистрация высокоширотного ионосферного провала 5 мая 2013 г. с помощью спутников GPS // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

43. Подлесный С.В., Михалев А.В. Оптические эффекты ночного неба в регионе Восточной Сибири после падения Челябинского метеорита // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

44. Полякова А.С., Мыльникова А.А. Исследование вариаций ионосферных параметров в периоды внезапных стратосферных потеплений в Арктическом регионе России на основе данных вертикального зондирования и GPS/GLONASS // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

45. Потапов А.С., Полюшкина Т.Н., Ойнац А.В., Райта Т., Цэгмэд Б. Первый опыт оценки ионного состава над ионосферой по данным о частотной структуре излучения ИАР // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

46. Рахматулин Р.А., Липко Ю.В., Пашинин А.Ю., Алешков В.М. Мониторинг геомагнитного поля в зоне Байкало-Хубсугульского разлома в 2010–2015 гг. // VII Всеросс. школа-семинар им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна. по электромагнитным зондированиям Земли. г. Иркутск, 14–19 сентября 2015 г.: Тез. докл. Иркутск, 2015. [http://conf.nsc.ru/ems2015/ru/ems2015\\_doklady](http://conf.nsc.ru/ems2015/ru/ems2015_doklady)

47. Седых П.А. Преобразование параметров плазмы солнечного ветра при переходе через фронт головной ударной волны и переходный слой // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М.,

2015. С. 67.

48. Седых П.А. Система МГД-уравнений для моделирования пространственного распределения плазменного давления в геомагнитосфере // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 133.

49. Семенов А.И., Шефов Н.Н., Медведева И.В., Хомич В.Ю. Эмпирическая модель вариаций эмиссий континуума верхней атмосферы // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

50. Смольков Г.Я., Баркин Ю.В. Внешние факторы солнечно-земных связей // Науч. конф. «Астрономия от ближнего космоса до космологических далей». 25–30 мая 2015 г., Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://www.sai.msu.su/EAAS/rus/confs/2nd\\_ann.htm](http://www.sai.msu.su/EAAS/rus/confs/2nd_ann.htm).

51. Соколов Д.Д., Хлыстова А.И., Абраменко В.И. Мелкомасштабное динамо и магнитное поле Солнца // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 13.

52. Тлатов А.Г., Свидский П.М., Пещеров В.С., Понявин Д.И. Прогноз параметров солнечного ветра по данным наблюдений магнитографа СТОП // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>

53. Толстиков М.В., Медведев А.В., Ратовский К.Г., Алсаткин С.С., Щербаков А.А. Исследование перемещающихся ионосферных возмущений на основе одновременных измерений Иркутского радара некогерентного рассеяния и ионозонда // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

54. Толстиков М.В., Медведев А.В., Ратовский К.Г., Алсаткин С.С., Щербаков А.А. Исследование температурных возмущений нижней и средней атмосферы во время стратосферных потеплений 2006–2013 // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)

55. Тясто М.И., Данилова О.А., Сдобнов В.Е. Возмущение магнитосферного магнитного поля в августе 2005 г. и вариации геомагнитных порогов космических лучей: связь с параметрами солнечного ветра // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 68.

56. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И., Руденко Г.В. Исследование роли нового вспыхивающего магнитного потока в генерации КВМ, связанных с эruptionей протуберанца // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 6.

57. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И., Руденко Г.В., Анфиногентов С.А. Вариации магнитного поля, сопровождающие возникновение КВМ, связанных с эruptionью волокна // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. С. 89. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>

58. Файнштейн В.Г., Пичуев В.А., Егоров Я.И., Загайнова Ю.С. Кинематика КВМ и связанных с ними ударных волн по данным LASCO: сравнительный анализ // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. С. 90. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>

59. Хабитуев Д.С., Шпынев Б.Г., Татарников А.В., Щеглова Е.С. Сравнение периодов межсуточных вариаций параметров океанических течений и параметров атмосферы средних широт // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез.

- докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)
60. Цап Ю.Т., Степанов А.В., Кашапова Л.К., Мягкова И.Н., Богомолов А.В., Копылова Ю.Г. О происхождении временных задержек нетеплового излучения солнечных вспышек // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 16.
61. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Хабитуев Д.С. Параметры циркуляции атмосферы северного полушария по данным реанализа ECMWF Era Interim // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)
62. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Куркин В.И., Ратовский К.Г., Белинская А.Ю., Степанов А.Е., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А., Коренькова Н.А., Лещенко В.С., Мелич Й. Пространственные вариации параметров ионосферы северного полушария над зимними струйными течениями // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)
63. Чернов Г.П., Фомичев В.В., Сыч Р.А., Tan B., Yan Y. Анализ эволюции вспышечных процессов и изменений поляризации тонкой структуры солнечного радиоизлучения // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 17.
64. Чернов Г.П., Фомичев В.В., Сыч Р.А., Tan B., Yan Y. Развитие вспышечных процессов и особенности тонкой структуры солнечного радиоизлучения // XIX Всеросс. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2015». Санкт-Петербург, ГАО РАН. 5–9 октября 2015 г.: Тез. докл. СПб., 2015. <http://www.gao.spb.ru/russian/solphys/2015/>
65. Черток И.М., Белов А.В., Гречнев В.В. Простой способ оценки рентгеновского класса солнечных залимбовых вспышек, наблюдаемых на STEREO // Десятая ежегодная конф. «Физика плазмы в Солнечной системе». 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Сб. тез. М., 2015. С. 18.
66. Щербаков А.А., Медведев А.В., Кушнарев Д.С., Толстиков М.В. Методика расчета нейтральных меридиональных ветров в средних широтах с помощью Иркутского радара НР // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)
67. Щербаков А.А., Медведев А.В., Кушнарев Д.С., Толстиков М.В. Сезонные вариации скоростей нейтрального меридионального ветра в средних широтах, исследованные с помощью Иркутского радара НР // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)
68. Язев С.А. Наблюдения полного солнечного затмения 20 марта 2015 г. на острове Шпицберген // Науч. конф. «Астрономия от ближнего космоса до космологических далей». 25–30 мая 2015 г., Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://www.sai.msu.su/EAAS/rus/conf/2nd\\_ann.htm](http://www.sai.msu.su/EAAS/rus/conf/2nd_ann.htm)
69. Язев С.А. Астрономическое образование и популяризация астрономии в Иркутске // Науч. конф. «Астрономия от ближнего космоса до космологических далей». 25–30 мая 2015 г., Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://www.sai.msu.su/EAAS/rus/conf/2nd\\_ann.htm](http://www.sai.msu.su/EAAS/rus/conf/2nd_ann.htm)
70. Ясюкевич Ю.В., Васильев Р.В., Ратовский К.Г., Глоба М.В., Полякова А.С. Проявление мелкомасштабных неоднородностей в данных радара некогерентного рассеяния, ионозонда DPS-4 и приемников GPS/ГЛОНАСС во время магнитной бури 22 июня 2015 г. // Тринадцатая Всеросс. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 г., ИКИ РАН, Москва: Тез. докл. М., 2015. [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109)
71. Kuznetsov A.A., Pshenichnikov A.F. Equilibrium structure of a flexible dipolar chain // Russian Conference on Magnetohydrodynamics. June 22–25, 2015, Perm, Russia = Вторая Рос-

сийская конференция по магнитной гидродинамике. 22–25 июня 2015 г., Пермь, Россия: Abstracts. Perm, 2015. <http://mhd.icmm.ru/>

72. Pipin V.V. Waldmeier's rules in the solar and stellar dynamo cycles // Russian Conference on Magnetohydrodynamics. June 22–25, 2015, Perm, Russia = Вторая Российская конференция по магнитной гидродинамике. 22–25 июня 2015 г., Пермь, Россия: Abstracts. Perm, 2015. <http://mhd.icmm.ru/>

73. Pipin V.V. Generation, rotation and helicity of the large – scale nonaxisymmetric magnetic field in solar dynamo // Russian Conference on Magnetohydrodynamics. June 22–25, 2015, Perm, Russia = Вторая Российская конференция по магнитной гидродинамике. 22–25 июня 2015 г., Пермь, Россия: Abstracts. Perm, 2015. <http://mhd.icmm.ru/>

74. Sedykh P.A. MHD modeling of processes in near-Earth space plasma: from the processes at the bow shock region to the magnetosphere–ionosphere coupling processes // Russian Conference on Magnetohydrodynamics. June 22–25, 2015, Perm, Russia = Вторая Российская конференция по магнитной гидродинамике. 22–25 июня 2015 г., Пермь, Россия: Abstracts. Perm, 2015. <http://mhd.icmm.ru/>

75. Sokoloff D.D., Kitchatinov L.L., Moss D., Shulyak D. Towards understanding of dynamo action in M-dwarfs // Russian Conference on Magnetohydrodynamics. June 22–25, 2015, Perm, Russia = Вторая Российская конференция по магнитной гидродинамике. 22–25 июня 2015 г., Пермь, Россия: Abstracts. Perm, 2015. <http://mhd.icmm.ru/>

## **8.6. Тезисы докладов на международных конференциях**

1. Afanasiev A.N., Nakariakov V.M. Cut-off period for slow magnetoacoustic waves in coronal plasma structures // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 3.

2. Afanasiev A.N. Nonlinear effects in the shock-associated EUV wave propagation // Solar Atmospheric Magnetic Connectivity. Warwick-Monash Meeting and Physics Day. 23–25 February, 2015, Great Britain: Reports. 2015. [http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/cfsa/people/nistico/openday\\_warwick-monash/](http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/cfsa/people/nistico/openday_warwick-monash/)

3. Altynsev A.T., Fleishman G.D., Kashapova L.K., Meshalkina, N.S., Pal'shin V., Mysh'yakov I.I. Two-loop flare sol 2012-07-06: Relationship between heating acceleration and circular polarization sign inversion in microwaves // The 4th Radiosun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 14.

4. Anfinogentov S. Motion amplification in coronal seismology // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 13.

5. Anfinogentov S., Nakariakov V.M., Nistico G. Decayless kink oscillations as a promising tool for coronal seismology // BUKS 2015. MHD waves and instabilities in the solar atmosphere and celebrating the scientific career of Michael Rudermann. 25–29 May 2015, Budapest, Hungary: Abstracts. 2015. [http://swat.group.shef.ac.uk/Conferences/BUKS\\_2015/\\_Participations.php](http://swat.group.shef.ac.uk/Conferences/BUKS_2015/_Participations.php)

6. Astafyeva E.I., Zakharenkova I.E., Yasyukevich Yu.V. Ionospheric storm: Fascinating geophysical phenomena and a potential threat for GNSS-based communication // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ст. IUGG-3798. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

7. Belousova E.P. Solar activity and variations of the wind stress in the Pacific Ocean zone // Seventh Workshop “Solar influences on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere”. June 1–5, 2015. Sunny Beach. Bulgaria: Book of Abstracts. 2015. P. 15. <http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>

8. Chelpanov A.A., Kobanov N.I., Kolobov D.Y. Parameters of oscillations in solar faculae magnetic knots // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 3.

9. Chelpanov M., Mager P., Klimushkin D., Berngardt O.I., Mager O.V. Experimental ev-

idence of drift compressional waves in the magnetosphere // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 18.

10. De Pasquale M., Pozanenko A., Volnova A., Klunko E., et. al. GBR 130831 A: Rise and Demise of a magnetar at  $z = 0,5$  // Fourteenth Marsel Grossmann Meeting – MG14. University of Rome “La Sapienza”, Rome, July 12–18, 2015: Abstracts. 2015. <http://www.icra.it/mg/mg14/welcome.htm>

11. Demyanov V.V., Kashkina T.V., Yasyukevich Yu.V. Nonstationary acceleration of GPS/GLONASS phase in the polar ionosphere // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. P. 41. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>

12. Demyanov V.V., Yasyukevich Yu.V., Kashkina T.V. GNSS positioning availability control under space weather hazards // J. Aeronautics and Aerospace Engineering. 2015. V. 3, N 3: Intern. Conf. and Exhibition on Satellite. August 17–19, 2015. Houston, USA: Abstracts. P. 72. [http://www.omicsgroup.org/journals/2168-9792/2168-9792-Satellite-2015\\_ScientificTracks-Abstracts.digital/#?page=26](http://www.omicsgroup.org/journals/2168-9792/2168-9792-Satellite-2015_ScientificTracks-Abstracts.digital/#?page=26)

13. Deres A., Anfinogentov S., Myshyakov I.I. The measurement of the sound speed and emission formation heights above sunspots using multilevel observations of three minute oscillations // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 4.

14. Fleishman G., Lysenko A., Pal'shin V., Meshalkina N.S., Zhdanov D.A., Kashapova L.K., Altyntsev A.T. Cold solar flares // 14<sup>th</sup> RHESSI Workshop. 2015, August 12–13: Abstracts. 2015. <http://ovsa.njit.edu/rhessi14/abstracts.php>

15. Globa M.V., Kashapova L.K., Kushnarev D.S., Medvedev A.V., Vasilyev R.V. Interferometric observations of the Sun by Irkutsk Incoherent Scattering Radar // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 23.

16. Grechnev V.V., Kiselev V., Meshalkina N.S., Chertok I.M. Relations between parameters of solar activity and solar energetic particle events // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 18.

17. Grechnev V.V. Solar eruptions, associated waves, and their manifestations in radio emission // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 29.

18. Grigoryeva S.A., Turova I.P., Ozhogina O.A. Studying the CaII K line profile shapes and dynamic processes in the solar chromosphere at the base of coronal hole // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 4–5.

19. Guglielmi A., Potapov A.S., Dovbnya B.V. On the solar origin of SE-type MHD oscillations in the Earth's polar caps // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 5.

20. Karakhanyan A.A., Molodyakov S.A. Variations of the vertical temperature profile of extratropical cyclones in the solar activity minima // Seventh Workshop “Solar influences on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere”. June 1–5, 2015, Sunny Beach, Bulgaria: Book of Abstracts. 2015. P. 15. <http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>

21. Kashapova L.K., Mysh'yakov I.I., Pal'shin V. Evolution of the magnetic free energy in a solar flare with spectral hardening // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 15.

22. Kashapova L.K., Myshyakov I.I., Pal'shin V. Evolution of the free magnetic energy in a solar flare with spectral hardening during a particular peak // 14<sup>th</sup> RHESSI Workshop. 2015, August 12–13: Abstracts. 2015. <http://ovsa.njit.edu/rhessi14/abstracts.php>

23. Kazimirovsky E.S. The sudden stratospheric warmings: signatures in the thermosphere/ionosphere // The 26th IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ст. A12p-143. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

24. Khakhinov V.V., Lebedev V.P., Kushnarev D.S. The active space experiments for investigation of ionospheric disturbances // Междунар. симп. «Атмосферная радиация и дина-

мика (МСАРД-2015)». Санкт-Петербург, 23–26 июня 2015 г.: Тезисы. Санкт-Петербург, 2015. С. 300.

25. Khakhinov V.V., Shpynev B.G., Lebedev V.P., Kushnarev D.S., Alsatkin S.S. Remote sensing of ionospheric disturbances caused by exhaust jets of the Progress Cargo Spacecraft // PIERS-2015, Prague. Progress in Electromagnetics Research Symposium. July 6–9, 2015. Prague, Czech Republic: Abstracts. Prague, 2015. P. 312. <http://piers.org/piersproceedings/piers2015Prague.php>
26. Kirichenko K., Kovalenko V.A. Influence of geomagnetic activity on SST changes // Seventh Workshop “Solar influences on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere”. June 1–5, 2015, Sunny Beach, Bulgaria: Book of Abstracts. 2015. P. 16. <http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>
27. Kirichenko K., Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A. Influence of solar and geomagnetic activity on climate change // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ст. A13p-026. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>
28. Kiselev V., Grechnev V.V. The 26 December 2001 solar event responsible for ground level enhancement 63 // ISSS-12. 12<sup>th</sup> Intern. School and Symposium for Space Simulations. July 2–10, 2015, Prague, Czech Republic: Book of Abstracts. Prague, 2015. P. 28. <http://wave.asu.cas.cz/iss12/>
29. Kiselev V., Grechnev V.V. The 26 December 2001 solar event responsible for ground level enhancement 63 // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ст. A30p-268. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>
30. Kiselev V., Grechnev V.V., Meshalkina N.S., Chertok I.M. Relations between fluences of high-energy protons near Earth and microwave bursts // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ст. IUGG-0692. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>
31. Klibanova Y., Mishin V.V., Tsegmed B., Moiseev A.V. Features of long period geomagnetic pulsations caused by the inclined front of the solar wind discontinuity // Japan Geophysical Union Meeting. May 27 - 28 May, 2015: Abstracts. 2015. P. PEM09-P06.
32. Klimenko M., Klimenko V.V., Zakharenkova I.E., Ratovsky K.G., Kotova D., Nosikov I.A., Bessarab F.S., Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A. Ionospheric effects of geomagnetic storms on 26–30 September 2011 in the different longitudinal sectors and their impact on the HF radio wave propagation // 1<sup>st</sup> URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT-RASC) 18–22 May 2015, Cran Canaria: Abstracts. 2015. Ст. GH2.2. <http://www.at-rasc.com>
33. Klimenko V.V., Klimenko M., Ratovsky K.G., Karpachev A.T., Zakharenkova I.E., Vesnin A.M., Galkin I.A., Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Kotova D. The similarities and differences between longitudinal variations of the ionospheric plasma density in the middle, auroral, and high latitudes // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. P. 42. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>
34. Klimenko M., Klimenko V., Zakharenkova I.E., Ratovsky K.G., Yasyukevich Yu.V. Summer mid-latitude anomalies in diurnal variation of the F2 layer peak electron density and total electron content // AOGS 12<sup>th</sup> Annual Meeting, 2–7 August, 2015, Singapore: Abstracts. 2015. Ст. ST04-14-30-A014. <http://www.meetmatt-svr3.net/aogs/aogs2015/mars2/pubViewAbs.asp>
35. Klimenko M., Klimenko V., Nosikov I.A., Karpachev A.T., Ratovsky K.G. Formation mechanisms for low-latitude and equatorial F region ionospheric and plasmaspheric disturbances during geomagnetic storms // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ст. IUGG-0815. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>
36. Klimenko M., Klimenko V.V., Ratovsky K.G., Karpachev A.T., Zakharenkova I.E., Cherniak Iu.V., Yasyukevich Yu.V., Chirik N. Weddel Sea, Yakutsk and mid-latitude summer evening anomalies in  $f_0F2$  and TEC diurnal variations // Technical Program of International Reference Ionosphere 2015 (IRI-2015) Workshop. Bangkok, Thailand, November 2–13, 2015. P. 64. <http://www.iri2015.kmitl.ac.th/>
37. Klimushkin D., Mager P., Yeoman T.K., James M., Dai L. Resonators for the poloidal ULF waves in the Earth's magnetosphere // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague,

June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ct. IUGG-0451. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>.

38. Kochanov A.A., Altyntsev A.T., Lesovoi S.V., Grechnev V.V., Rudenko G.V., Prosovetsky D.V., Anfinogentov S. Long-term SSRT observations of quiet and active solar features at 5.7 GHz // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ct. IUGG-4254. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>.

39. Kolobov D.Y., Kobanov N.I., Chelpanov A.A. Oscillation stratification characteristics in sunspot penumbrae // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 6.

40. Kosovichev A.G., Pipin V.V. Dynamo models with double-cell meridional circulation // NASA LWS Workshop, Boulder, USA: Abstracts. 2015. <http://lws.gsfc.nasa.gov/>

41. Kozlov D.A., Leonovich A.S. Coupled guided modes in the magnetotails: Spatial structure and ballooning instability // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ct. A20p-253. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

42. Kravtsova M., Sdobnov V.E. Analysis of GLE November 6, 1997 // Seventh Workshop “Solar influences on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere”. June 1–5, 2015, Sunny Beach, Bulgaria: Book of Abstracts. 2015. P. 20. <http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>

43. Kudryavtseva A., Prosovetsky D.V. Comparative characteristics of solar wind streams in low-latitude and polar regions of the outer corona of the Sun // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 19.

44. Kurkin V.I., Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Romanova E.B. Storm-time magnetosphere and ionosphere disturbances on March 7–11 and July 14–17, 2012 // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ct. A18p-338. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

45. Kurkin V.I., Polekh N.M., Demidov M.L., Ivanova V.A. Variability of the ionosphere over Eastern Siberia, according to the oblique-incidence sounding data // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ct. A12p-159. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

46. Kuzanyan K.M., Sych R.A., Yang S., Yan Y. Solar helical magnetic fields and sound waves in sunspots // HINODE-9. Intern. Science Meeting. September 14–18, 2015. Belfast, Northern Ireland: Abstracts. 2015. P. 109. <https://star.pst.qub.ac.uk/wiki/doku.php/public/hinode9/schedule>

47. Kuznetsov A.A., Fleishman G.D. Theory of GHz and mm-submm emissions from flaring loops // CESRA Radio Summer School 2015. 24–28 August 2015, Glasgow, UK: Abstracts. 2015. [http://www.astro.gla.ac.uk/?page\\_id=3683](http://www.astro.gla.ac.uk/?page_id=3683)

48. Kuznetsov A.A., Doorsselaere T. van, Reznikova V.E. Simulations of gyrosynchrotron emission from an oscillating magnetic loop // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 6–7.

49. Leonovich A.S., Klimushkin D., Mager P., Cheremnykh O.K. Transformation of standing poloidal Alfvén wave to toroidal Alfvén wave due to the field line curvature // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ct. IUGG-0536. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

50. Lesovoi S.V., Altyntsev A.T., Ivanov E.F., Gubin A.V. Multifrequency Siberian Radioheliograph // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 23.

51. Lysenko A., Fleishman G.D., Pal'shin V., Altyntsev A.T., Meshalkina, N.S., Zhdanov D.A. Cold solar flares: Statistical study with the X-ray and microwave data // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 15.

52. Mager P., Klimushkin D., Berngardt O.I., Mager O.V., Zolotukhina N.A. Signatures of coupled Alfvén and drift compressional modes in the high-resolution multibeam ULF wave experiment at the Ekaterinburg SuperDARN radar // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ct. A19p-050. <http://www.iugg2015prague.com/>

complete-programme.htm

53. Mazur V.A., Chuiko D.A. Mechanisms of large scale MHD wave amplification and penetration into the near-Earth's space // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 19.

54. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G., Medvedev A.V., Tolstikov M.V. Wave activity seasonal dependence in variations in parameters of the neutral upper atmosphere and ionosphere // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ct. A12p-157. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

55. Medvedeva I.V., Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Shcherbakov A.A. Influence of major sudden stratospheric warming on the neutral upper atmosphere and ionosphere over Eastern Siberia // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ct. A12p-158. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

56. Medvedeva I.V., Semenov A.I., Perminov V.I. Longitudinal features of temperature in the mesopause region from middle-latitude measurements of OH emission // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ct. M14 IUGG-2581. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

57. Meshalkina N.S., Altyntsev A.T., Meszarosova H., Karlicky M., Pal'shin V., Lesovoi S.V. Analysis of the quasi-periodic pulses in the 2012 August 18 flare based on a new complex of radio instruments observations // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 10.

58. Mishin V.V., Tomozov V.M. Kelvin–Helmholtz instability in the solar corona, solar wind and in geomagnetosphere // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 29.

59. Molodykh S.I., Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A. The variability of the spatial pattern of surface temperature response on solar and geomagnetic activity // Seventh Workshop “Solar influences on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere”. June 1–5, 2015. Sunny Beach. Bulgaria: Book of Abstracts. 2015. P. 17. <http://ws-sozopol.stil.bas.bg/>

60. Muratova N.O., Muratov A.A. Results of development of the new solar meter-wave spectropolarimeter (SMWS) // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 25.

61. Myagkova I.N., Kashapova L.K., Miteva R., Bogomolov A. Characteristics of SEP events produced by solar flares during evolution of the active region and their relationship with radio and HXR solar emission // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 16.

62. Myagkova I.N., Panasyuk M.I., Svertilov S.I., Bogomolov V.V., Bogomolov A.V., Kovtyukh A.S., Iyudin A.F., Garipov G.K., Kalegaev V.V., Kuznetsova E.A., Barinova V.O., Balan E.V., Klimov S.I., Grushin V.A., Korepanov E., Ferenz C., Segedi P., Rothkaehl H. RELEC Experiment on board VERNOV Mission – space weather study // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 25.

63. Nita G.M., Fleishman G.D., Kuznetsov A.A., Kontar E.P., Gary D. New enhancements of the GX\_Simulator: 3D data-driven modeling of active regions and simulation of associated microwave // 14<sup>th</sup> RHESSI Workshop. 2015, August 12–13: Abstracts. 2015. <http://ovsa.njit.edu/rhessi14/abstracts.php>

64. Nita G.M., Fleishman G.D., Kuznetsov A.A., Kontar E.P., Gary D. New enhancements of the GX\_Simulator: 3D data – driven modeling of flaring loops and simulation of associated microwave and X-ray emission maps // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ct. IUGG-4725. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>

65. Pipin V.V., Kosovichev A.G. Generation and properties of large-scale non-axisymmetric magnetic fields by solar dynamo // IAU XXIX General Assembly. Honolulu, HI, August 2015: Meeting Abstracts. 2015. Ct. S320p.13. P. 1363. <http://astronomy2015.org/sites/>

66. Pipin V.V., Kosovichev A.G. Waldmeier's rules in the solar and stellar dynamos // IAU XXIX General Assembly. Honolulu, HI, August 2015: Abstracts. 2015. Ct. FM13.5.07. P. 382. <http://astronomy2015.org/sites/default/files/Abstracts%20for%20web%208.11.pdf>.
67. Potapov A.S., Polyushkina T., Oinats A.V., Rakhmatulin R. A., Raita T. Using measurements of the IAR emission frequency structure to evaluate the ion composition above the ionosphere // Technical Program of International Reference Ionosphere 2015 (IRI2015) Workshop. Bangkok, Thailand, November 2–13, 2015. P. 122. <http://www.iri2015.kmitl.ac.th/>
68. Potekhin A.P., Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Alsatkin S.S. Topside and bottomside electron density behavior obtained from long - duration Irkutsk incoherent scatter radar measurements // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. Ct. A15p-046. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>
69. Pozanenko A., Volnova A., Guziy S., Tungalag N., Shijirbayar Ts., Klunko E., Moltov I., Minaev P. Astronomical hosting in Central Asia // Fourth Workshop in Robotic Autonomous Observatories. Torremolinos (Malaga), Spain, 28 September – 2 October 2015: Abstracts. 2015. <http://astrorob.iaa.es/>
70. Prosovetsky D.V., Prosovetskaya N. Short-time oscillations in the quiet solar corona // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 7.
71. Ratovsky K.G. Estimation of solar and geomagnetic activity contributions to solar cycle variations of ionospheric characteristics // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ct. IUGG-2609. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>
72. Ratovsky K.G., Medvedev A.V., Alsatkin S.S., Klimenko M., Klimenko V.V., Oinats A.V. Topside electron density: Comparison between Irkutsk Incoherent Scatter Radar measurements, ionosonde observations, GSM TIP simulations and IRI predictions // Technical Program of International Reference Ionosphere 2015 (IRI2015) Workshop. Bangkok, Thailand, November 2–13, 2015. P. 78. <http://www.iri2015.kmitl.ac.th/>
73. Sdobnov V.E. Analyzing the 2014 January 6 ground level enhancement // ICRC 2015. 34<sup>th</sup> Intern. Cosmic Ray Conf. July 30 – August 6, 2015. The Hague, the Netherland: Book of Abstracts. 2015. ICRC2015-I/1114. P. 254. <http://indico.cern.ch/event/344485/abstract-book.pdf>
74. Sedykh P.A. Key processes in the bow shock region // 1<sup>st</sup> URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT – RASC) 18–22 May 2015, Cran Canaria: Abstracts. 2015. H03.7. <http://www.at-rasc.com>
75. Semenov A.I., Shefov N.N., Medvedeva I.V., Khomich V. Variations of the continuum characteristics of the upper atmosphere // The 26th IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. M14p-431. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>
76. Shpynev B.G., Chernigovskaya M.A., Ratovsky K.G. The stratosphere jet stream effects in variations of ionosphere parameters according to vertical radio sounding data // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. 2015. A12p-154. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>
77. Shcherbakov A.A., Ratovsky K.G., Lin C., Dmitriev A.V., Suvorova A., Alsatkin S.S., Oinats A.V. Comparative study of COSMIC/FORMOSAT-3, incoherent scatter radar, ionosonde and IRI model electron density vertical profiles during the solar activity growth period // Technical Program of International Reference Ionosphere 2015 (IRI2015) Workshop. Bangkok, Thailand, November 2–13, 2015. P. 135. <http://www.iri2015.kmitl.ac.th/>
78. Shpynev B.G., Churilov S.M., Chernigovskaya M. A. Generation of gravity waves by winter polar stratosphere jet - streams // The 26<sup>th</sup> IUGG General Assembly 2015. Prague, June 22 – July 2, 2015: Abstracts. Prague, 2015. Ct. IUGG-2018. <http://www.iugg2015prague.com/complete-programme.htm>
79. Sokoloff D.D., Khlystova A.I., Abramenco V. Solar small-scale dynamo and polarity

of sunspot groups // FinCOSPAR 2015. Sodankyla, Finland, 26–28 August, 2015: Abstracts. 2015. <http://www.cospar.fi/fincospar2015/>

80. Sych R.A., Karlicky M., Altyntsev A.T., Dudik J., Kashapova L.K. Sunspot waves and flare energy release // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 11.

81. Tsap Y.T., Stepanov A.V., Kopylova, Yu.G., Kashapova L.K. Phase relations for seismology of photospheric flux tubes // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 8.

82. Vernova E.S., Tyasto M.I., Danilova O.A., Sdobnov V.E. Geomagnetic cutoff rigidity variation of cosmic rays and their relation with the interplanetary parameters during the disturbance of September 2005 // EGU General Assembly, Vienna, Austria, 12–17 April 2015: Abstracts. Vienna, 2015. EGU2015-3001.

83. Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Polyakova A.S. Estimating the absolute total electron content, spatial gradients and time derivative from the GNSS data // 1<sup>st</sup> URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT – RASC) 18–22 May 2015, Cran Canaria: Abstracts. 2015. G12.4. <http://www.at-rasc.com>.

84. Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Kunitsyn V., Padokhin A. Systematic changing and variations of GPS/ GLONASS differential code biases // 1<sup>st</sup> URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT – RASC) 18–22 May 2015, Cran Canaria: Abstracts. 2015. G12.5. <http://www.at-rasc.com>

85. Zakharov V.I., Yasyukevich Yu.V., Titova M.A. GPS-slips during magnetic storms at high latitudes // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. P. 46. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>

86. Zharkova V.V., Meshalkina, N.S., Altyntsev A.T., Dobranksis R., Zhdanov D.A., Fedun V. Diagnostics of Langmuir turbulence in solar flares // AOGS 12<sup>th</sup> Annual Meeting, 2–7 August, 2015, Singapore: Abstracts. 2015. ST33-A016. <http://www.meetmatt-svr3.net/aogs/aogs2015/mars2/pubViewAbs.asp>.

87. Zhdanov D.A., Lesovoi S.V., Tokhchukova S.K. Multifrequency investigation of the microwave fine structure source // The 4<sup>th</sup> RadioSun Workshop and Summer School. Irkutsk, June 8–12, 2015: Abstracts. Irkutsk, 2015. P. 20.

88. Алсаткин С.С., Медведев А.В., Ратовский К.Г. Суточно-сезонные вариации электронной концентрации во внешней ионосфере по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 37.

89. Андреева О.А., Руденко Г.В., Степанян Н.Н., Файнштейн В.Г. Изменение суммарного магнитного потока Солнца со временем, широтой и высотой // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. Симферополь, 2015. С. 13. <http://solar.crao.crimea.ua/>

90. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В., Мордвинов В.И. Изменение пространственной структуры и интенсивности летнего восточноазиатского муссона в периоды атмосферного блокирования над Азией // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 86.

91. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В., Симоненков Д.В., Скляднева Т.К. Атмосферные блокинги в Западной Сибири: особенности идентификации и долговременная изменчивость // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика (MCAPD-2015)». 23–26 июня 2015 г., Санкт-Петербург: Тезисы. Санкт-Петербург, 2015. С. 271.

92. Афанасьев А.Н. Период отсечки медленных магнитозвуковых волн в корональ-

ных плазменных структурах // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 8.

93. Афанасьев А.Н., Накаряков В.М. Период отсечки медленных магнитозвуковых волн в корональных плазменных структурах // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. 2015. С.23. <http://solar.crao.crimea.ua/>

94. Ахтемов З.С., Степанян Н.Н., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В. Структура магнитного поля Солнца на высотах 1–1.15 его радиуса // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. Симферополь, 2015. С. 16. <http://solar.crao.crimea.ua/>

95. Белецкий А.Б., Михалев А.В., Ташилин М.А., Татарников А.В. Оценка эффективности использования спектрографа SHAMROCK SR-303i для регистрации излучения верхней атмосферы в средних и высоких широтах // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск, 2015. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

96. Белецкий А.Б., Михалев А.В., Ташилин М.А., Костылева Н.В., Леонович В.А., Подлесный С.В., Сыренова Т.Е., Татарников А.В., Черепанов В.Б. Оптические наблюдения среднеширотного излучения верхней атмосферы во время магнитной бури 17 марта 2015 г. // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика (МСАРД-2015)». 23–26 июня 2015 г., Санкт-Петербург: Тезисы. Санкт-Петербург, 2015. С. 294.

97. Белоусова Е.П., Коваленко В.А., Кириченко К.Е. Исследование особенностей влияния ветрового напряжения на температуру поверхности океана // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 136. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

98. Белоусова Е.П. Долговременные изменения теплосодержания океана и ветровое напряжение // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 87–88.

99. Боровик А.В., Мячин Д.Ю., Уралов А.М. Модельное представление внепланетной солнечной вспышки // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. 2015. С. 25. <http://solar.crao.crimea.ua/>

100. Вдовин Е.М., Книжин С.И., Мыльникова А.А., Сажин В.И. Расчет текущих значений полного электронного содержания ионосферы на основе корректируемой среднемесячной модели // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 67.

101. Глоба М.В., Васильев Р.В., Кушнарев Д.С., Медведев А.В. Интерферометрические наблюдения мерцаний дискретного радиоисточника на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 68.

102. Горяшин В.Е., Есевевич М.В., Клунко Е.В., Лебедев В.П., Медведев А.В., Тергоев В.И., Хахинов В.В. Координированные наблюдения низкоорбитальных КО на радиооптическом комплексе ИСЗФ СО РАН // IX Международная конференция «Околоземная астрономия – 2015», п. Терскол, КБР, Россия, 31 августа – 5 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Терскол, 2015. С. 83–84. <http://agora.guru.ru/display.php?conf=oza-2015>

103. Гречнев В.В., Киселев В.И., Мешалкина Н.С. Соотношение между параметрами

солнечных эруптивных событий и околоземных протонных возрастаний высоких энергий // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 10–11.

104. Грозов В.П., Бубнова Т.В., Подлесный А.В. Выделение периодичностей на амплитудных картах как способ анализа динамических процессов в ионосфере // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С.136. <http://symp.iao.ru/ru/ao/21/i1>

105. Грозов В.П., Демьянов М.О. Системы сбора и передачи ионосферных данных ИСЗФ СО РАН // XXI Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". Томск, 22-26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 136. <http://symp.iao.ru/ru/ao/21/i1>

106. Дементьев В.О., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Грач С.М. Оценка высоты отражения мощной радиоволны и границ области плазменных резонансов ионосферы методами математического моделирования для нагревных экспериментов на стенде СУРА в августе 2014 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 68–69.

107. Демидов М.Л., Киселев А.В., Верещакий Р.М. Стоксометрические наблюдения ОМП и КМП Солнца в различных спектральных линиях и некоторые проблемы их интерпретации // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым : Тезисы докл. 2015. <http://solar.crao.crimea.ua/>

108. Дерес А.С., Анфиногентов С.А., Мышияков И.И. Использование наблюдений трехминутных колебаний для измерения скорости звука и высот формирования излучения в атмосфере солнечных пятен // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 11–12.

109. Егоров Я.И., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В., Анфиногентов С.А. Особенности вариаций фотосферного магнитного поля в области генерации КВМ 7 июня 2011 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 12.

110. Егоров Я.И., Файнштейн В.Г., Руленко Г.В., Анфиногентов С.А. Вариации магнитного поля, сопровождающие возникновение КВМ, связанного с эruptionью волокна // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. Симферополь, 2015. С. 42. <http://solar.crao.crimea.ua/>

111. Есевевич М.В., Амвросов А.Л., Караваев Ю.С., Клунко Е.В., Коробцев И.В., Мишина М.Н., Тергоев В.И., Цуккер Т.Г., Чупраков С.А. Телескопы Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН: состояние и перспективы // Международная конференция «Настоящее и будущее малых и средних телескопов» (SMT-2015). 19–22 октября 2015 г., Нижний Архыз, САО РАН: Тезисы докл. 2015. С. 45. <http://www.sao.ru/hq/lon/ConfSite/main-ru.html>

112. Есевевич В.Г. Природа возникновения корональных выбросов массы: современное состояние исследований и последние результаты // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. 2015. <http://solar.crao.crimea.ua/>

113. Жеребцов Г.А. Основные физические процессы и механизмы, ответственные за

наблюдаемые изменения климата в XX–XXI веке // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 9. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

114. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н., Руденко Г.В., Анфиногентов С.А. Вариации магнитного поля в тени магнитно-связанных и одиночных пятен при их прохождении по диску Солнца // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. Симферополь, 2015. С. 46. <http://solar.crao.crimea.ua/>

115. Иванова В.А., Куркин В.И., Чистякова Л.В., Пежемская М.Д., Подлесный А.В., Думбрава З.Ф. Исследование среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений на трассе Хабаровск–Торы // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 146. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

116. Каражанян А.А., Молодых С.И. Изменение вертикального профиля температуры внетропических циклонов при разных внешних условиях // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 144. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

117. Каражанян А.А., Молодых С.И. Изменение вертикального профиля температуры внетропических циклонов в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 94.

118. Кашкина Т.В., Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В. Вторая производная фазы по времени как индикатор тонкой структуры ионосферы // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 44.

119. Кириченко К.Е., Коваленко В.А., Белоусова Е.П. Влияние ветрового напряжения на проявление геомагнитной активности в температуре поверхности океана // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 147. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

120. Кириченко К.Е. Изменчивость температуры поверхности океана на различных временных масштабах // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 94–95.

121. Клибанова Ю.Ю., Мишин В.В., Цэгмэд Б., Моисеев А.В. Влияние наклона фронта неоднородности солнечного ветра на свойства длиннопериодных геомагнитных пульсаций во время начала магнитосферной бури // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. Р. 15. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>

122. Клименко М.В., Клименко В.В., Захаренкова И.Е., Ратовский К.Г. Влияние термосферы и плазмосферы на формирование ионосферных возмущений на различных фазах геомагнитных бурь // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 44–45.

123. Кобелев П.Г., Преображенский М.С., Абунин А.А., Абунина М.А., Смирнов Д.В., Луковникова А.А. Барометрический эффект нейтронной компоненты космических лучей на антарктической станции «Мирный» с учетом ветра // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых уче-

ных «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 15–16.

124. Ковадло П.Г., Язев С.А. Климатические изменения в нижних слоях атмосферы Земли // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск, 2015. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

125. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Об астроклиматических условиях в горных регионах юга Восточной Сибири // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 95.

126. Колобов Д.Ю., Григорьев В.М., Демидов М.Л., Чупраков С.А., Скоморовский В.И., Ковадло П.Г., Пуляев В.А. Национальный проект крупного солнечного телескопа: задачи и перспективы // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 3–4.

127. Конецкая Е.В., Тинин М.В. Коррекция ионосферных ошибок второго порядка в двухчастотных измерениях ГНСС // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 72.

128. Коняев П.А., Боровик А.В., Жданов А.А. Компьютерный анализ структуры и развития внепланетных вспышек по изображениям солнечной хромосферы // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск, 2015. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

129. Копылов Е.А., Лукин В.П., Ботыгина Н.Н., Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г. Исследование изменчивости атмосферной турбулентности в районе озера Байкал, пос. Листвянка // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск, 2015. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

130. Копылов Е.А., Шиховцев А.Ю. Исследование параметров изображений, регистрируемых на БСВТ, на основе характеристик волнового фронта // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск, 2015. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

131. Копылов Е.А., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Исследование изменчивости атмосферной турбулентности в районе озера Байкал // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 96–97.

132. Копылов Е.А., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Исследование изменчивости атмосферной турбулентности в районе озера Байкал // Междунар. симп. «Атмосферная радиация и динамика (МСАРД-2015)». 23–26 июня 2015 г., Санкт-Петербург: Тезисы. Санкт-Петербург, 2015. С. 245.

133. Копылов Е.А., Семин А.А., Шиховцев А.Ю. Исследование изменчивости атмосферной турбулентности с помощью датчика волнового фронта // 6-я Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы радиофизики». Томск, 5–10 октября 2015 г.: Программа. Томск, 2015. С. 17. [http://conference.tsu.ru/apr&conference\\_page=text&pageid=199](http://conference.tsu.ru/apr&conference_page=text&pageid=199).

134. Коробцев И.В., Горяшин В.Е., Мишина М.Н., Еселеевич М.В. Результаты оптических наблюдений космических аппаратов на сверхвысоких широтах // IX Международная конференция «Околоземная астрономия – 2015», п. Терскол, КБР, Россия, 31 августа – 5 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Терскол, 2015. С. 87. <http://agora.guru.ru/display.php?conf=oza-2015>.

135. Кочеткова О.С., Погорельцев А.И., Мордвинов В.И. Влияние возмущений в низкоширотной тропосфере на динамические процессы во внутропической стратосфере //

Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 97–98.

136. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Наземное возрастание интенсивности космических лучей 6 ноября 1997 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 49.

137. Кудрявцева А.В., Просовецкий Д.В. Источники мелкомасштабных неоднородностей в солнечном ветре и динамические параметры потоков солнечного ветра во внешней короне Солнца // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 16–17.

138. Куницын В.Е., Курбатов Г.А., Падохин А.М., Ясюкевич Ю.В. Сравнительный анализ шумов в оценках полного электронного содержания ионосферы по данным приема сигналов геостационарных навигационных спутников // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 50.

139. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Долговременные изменения в нейтральном газовом составе термосферы // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 136. <http://symp.iao.ru/ru/ao/21/i1>

140. Лавыгина И.А., Лебедев В.П. Учет влияния антенны Иркутского радара некогерентного рассеяния на форму и параметры широкополосного сигнала // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 73.

141. Ларюнин О.А., Куркин В.И. О признаках перемещающихся ионосферных возмущений на ионограммах // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 50–51.

142. Ларюнин О.А., Куркин В.И., Подлесный А.В. О численном синтезе ионограмм вертикального и наклонного зондирования // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 123. <http://symp.iao.ru/ru/ao/21/i1>

143. Латышев С.В., Олемской С.В. Северо-южная асимметрия пятнообразования и амплитуда 11-летнего цикла // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 18.

144. Леонович Л.А., Тащилин А.В., Леонович В.А., Матафонов Г.К. Возможные эффекты высыпания электронов в ночной среднеширотной атмосфере // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 120. <http://symp.iao.ru/ru/ao/21/i1>

145. Лесовой С.В. Солнечные радиотелескопы // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 4–5.

146. Лоптева Л.С. Фазовые пластиинки из полимерных материалов для поляризационных измерений // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 19–20.

147. Луковникова А.А. Системы сбора данных и передачи информации в реальной

времени станций космических лучей ИСЗФ СО РАН // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 20.

148. Лунюшкин С.Б., Базаржапов А.Д., Бернгардт О.И., Мишин В.М., Толочко М.В. Распределение электрического потенциала в возмущенной полярной ионосфере: сравнение статистических моделей и данных отдельных интервалов суббури // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. Р. 16. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>

149. Малащук В.М., Степанян Н.Н., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В. Магнитоизолированные комплексы в 24 цикле солнечной активности // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. 2015. <http://solar.crao.crimea.ua/>

150. Машнич Г.П., Башкирцев В.С. Движения и колебания в волокне перед эruptionей // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. 2015. <http://solar.crao.crimea.ua/>

151. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Об особенностях изменений спектров энергий во вспышечных потоках солнечных космических лучей // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. 2015. <http://solar.crao.crimea.ua/>

152. Мишин В.В., Курикалова М.А., Караваев Ю.А., Мишин В.М., Бернгардт О.И. Динамика продольных токов в ходе двух суббури летнего и зимнего сезона и модель электрической цепи магнитосферно-ионосферной системы двух полушарий // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. Р. 16. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>

153. Мишин В.В., Караваев Ю.А., Han J.P., Wang C. Эффект насыщения потока Пойнティングа в магнитосферу во время супербури (20–21) ноября 2003: сравнение результатов ТИМ и модели PPMLP // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. Р. 22. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>

154. Мишин В.В., Курикалова М.А., Мишин В.М. Динамика продольных токов в цепочке суббури во время супербури 06.04.2000 // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. Р. 16. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>

155. Мишин В.В. Неустойчивость Кельвина–Гельмгольца и Рэлея–Тейлора в солнечном ветре и на границе магнитосферы. Линейная теория (обзор) // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. Р. 16. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>

156. Молодых С.И. Влияние интегрирующих свойств климатической системы на связь геомагнитной активности с температурой // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 142. <http://symp.iao.ru/ru/ao/21/i1>

157. Морозова А.Д., Кочанов А.А., Синеговская Т.С., Синеговский С.И. Источники атмосферных электронных нейтрино // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 24.

158. Мыльникова А.А., Ясюкевич Ю.В. Особенности определения абсолютного ПЭС в различных точках земного шара // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 52.

159. Науменко А.А., Подлесный А.В. Результаты измерения передаточной функции

четырехполюсника с помощью ЛЧМ-сигнала // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 76.

160. Нелюбова О.В. Исследование структуры коронального магнитного поля на основе моделирования солнечных пятен и данных радионаблюдений // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 25.

161. Нихайчик А.А., Файнштейн В.Г., Егоров Я.И. Сравнительный анализ геометрических характеристик эруптивных протуберанцев по наблюдениям в различных спектральных диапазонах // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 26–27.

162. Носов В.В., Григорьев В.М., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Носов Е.В., Тергоев В.И. Эффект перемежаемости турбулентности в высокогорных наблюдениях // 6-я Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы радиофизики». Томск, 5–10 октября 2015 г.: Программа. Томск, 2015. С. 17. [http://conference.tsu.ru/apr/&conference\\_page=text&pageid=199](http://conference.tsu.ru/apr/&conference_page=text&pageid=199)

163. Олемской С.В. Северо - южная асимметрия пятнообразования и амплитуда 11-летних циклов // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. 2015. <http://solar.crao.crimea.ua/>

164. Пензин М.С., Ильин Н.В. Моделирование доплеровского сдвига частоты в многолучевых слабонестационарных радиоканалах // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 40. <http://symp.iao.ru/tu/aoo/21/i1>

165. Пензин М.С., Ильин Н.В. Моделирование доплеровского смещения частоты в нестационарном однородном радиоканале на основе метода нормальных волн // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 55.

166. Пензин М.С., Пономарчук С.Н., Ильин Н.В. Модель распространения радиоволн для диапазона частот 2–10 МГц на основе метода нормальных волн // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 55–56.

167. Перевалова Н.П., Романова Е.Б., Каташевцева Д.Д., Тимофеева О.В. Исследование пространственного распределения полного электронного содержания в высокоширотной ионосфере с помощью спутников GPS // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 56.

168. Перевалова Н.П., Едемский И.К., Тимофеева О.В., Каташевцева Д.Д., Полякова А.С. Исследование уровня возмущенности полного электронного содержания в среднеширотном и арктическом регионах по данным GPS // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 57.

169. Перевалова Н.П., Бернгардт О.И., Шестаков Н.В., Загретдинова Р.В., Бахтияров В.Г. Характеристики эффектов в верхней атмосфере Земли, вызванных падением метеорита «Челябинск» // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика

(МСАРД-2015)». 23–26 июня 2015 г., Санкт-Петербург: Тезисы. Санкт-Петербург, 2015. С. 258.

170. Подлесный С.В., Михалев А.В. Спектрофотометрия среднеширотных сияний, наблюдавшихся в регионе Восточной Сибири во время магнитных бурь 27 февраля 2014 г. и 17 марта 2015 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 57–58.

171. Полякова А.С., Ясюкевич Ю.В. Возмущения полного электронного содержания в зоне действия тайфунов в ночное время // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 58–59.

172. Полякова А.С., Мыльникова А.А. Исследование динамики ионосферы в периоды внезапных стратосферных потеплений в арктическом регионе России // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 59.

173. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Ким А.Г., Котович Г.В., Подлесный А.В. Оперативная диагностика параметров ионосферы в средней точке радиотрассы по данным НЗ // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 121. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

174. Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Романова Е.Б., Ташилин А.В., Ляхов А.Н. Моделирование характеристик распространения КВ-радиоволн в периоды солнечных вспышек // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 121. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

175. Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Полех Н.М., Подлесный А.В., Золотухина Н.А., Романова Е.Б. Эффекты космической погоды в КВ распространении в период солнечной вспышки 25 февраля 2014 года // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 123. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

176. Пономарчук С.Н., Полех Н.М., Романова Е.Б., Золотухина Н.А., Куркин В.И., Подлесный А.В. Возмущения ионосферного радиоканала в период магнитной бури 17–24 марта 2015 года // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 121. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

177. Руднева М.А., Мордвинов В.И., Девятова Е.В. Связь процессов в экваториальной тропосфере с динамикой стратосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 102–103.

178. Седых П.А. Эквивалентная эл. схема цепи магнитосферно-ионосферно-атмосферного взаимодействия // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 140. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

179. Сергеев П.О., Жданов Д.А., Сафьянников А.С. Абсолютная калибровка солнечного радиопотока на спектрополяриметре 4–8 ГГц // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 31–32.

180. Сетов А.Г., Медведев А.В., Кушнарев Д.С., Васильев Р.В., Лебедев В.П. Иссле-

дование возможностей антенной системы нового радара НР-МСТ при различных режимах работы // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 60–61.

181. Ташлыков В.П., Васильев Р.В., Медведев А.В., Щербаков А.А. Регрессионный метод определения температур по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 61.

182. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Заруднев В.Е. Исследование и оценка некоторых ключевых параметров фотометра для совместной работы с ИРНР // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 62.

183. Файнштейн В.Г., Пичуев В.А., Егоров Я.И., Загайнова Ю.С. Кинематика КВМ и связанных ударных волн по данным LASCO: сравнительный анализ // Международная конференция «Физика Солнца: теория и наблюдения», посвященная 70-летнему юбилею образования Крымской астрофизической обсерватории. 6–12 сентября 2015 г., пос. Научный, Крым: Тезисы докл. Симферополь, 2015. С. 86. <http://solar.crao.crimea.ua/>

184. Федоров Р.Р., Гркович К.В., Бернгардт О.И. Использование симметричных зондирующих последовательностей на радаре EKB SuperDARN // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 82.

185. Цаюкова А.Г. Электрооптический модулятор поляризованного излучения // Междунар. Байкальская молод. науч. шк. по фундам. физике. XIV Конф. молодых ученых "Взаимодействие полей и излучения с веществом". 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 33.

186. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г. Исследование турбулентности и оптической нестабильности в условиях устойчивой термической стратификации атмосферы // XXI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Томск, 22–26 июня 2015 г.: Тезисы докл. Томск, 2015. <http://symp.iao.ru/ru/aoo/21/i1>

187. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г. Исследование турбулентности и оптической нестабильности земной атмосферы в горных районах юга Сибири // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика (МСАРД-2015)». 23–26 июня 2015 г., Санкт-Петербург: Тезисы. Санкт-Петербург, 2015. С. 259.

188. Щербаков А.А., Медведев А.В., Кушнарев Д.С. Сезонные вариации скорости нейтрального меридионального ветра на ионосферных высотах в средних широтах Сибирского региона // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 63.

189. Яковлева О.Е., Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М. Основные газовые составляющие термосферы  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  в годы минимума солнечной активности (2007–2009 гг.) на станции «Норильск» // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 63–64.

190. Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Куницын В.Е., Падохин А.М. Оценка динамики дифференциальных кодовых задержек в каналах ГЛОНАСС и GPS // The 38<sup>th</sup> Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena". Apatity, March 2–6, 2015: Abstracts. Apatity, 2015. Р. 54. <http://pgia.ru:81/seminar/abstracts.html>

191. Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В. Использование технологии графов для ионо-

сферных исследований // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XIV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 14–18 сентября 2015 г.: Тезисы докл. Иркутск, 2015. С. 64.

## 8.7. Монографии

1. Душутин Н.К., Ясюкевич Ю.В. Из истории электроники: учебное пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. 343 с.
2. Институт солнечно-земной физики СО РАН: создание и развитие. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. 610 с.: ил. – 500 экз. – ISBN 978-5-7692-1418-9.
3. Потапов А.С., Сухбатаар У., Базаржапов А.Д., Батмунх Д., Григорьев В.М., Дегтярев В.И., Лхагважав Ч., Мишин В.В., Мишин В.М., Мордвинов А.В., Намсурен Б., Поляков В.И., Харченко И.П., Цэгмэд Б., Язев С.А. Координированные солнечные, магнитные и сейсмомагнитные исследования в интересах мониторинга геофизической среды и космического пространства // Научное сотрудничество Сибирского отделения РАН с Монголией в первой половине XXI века: Выпуск 1: 2011–2013 гг. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. С. 141–150. ISBN 978-5-7692-1412-7.
4. Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В. Механизмы воздействия нерегулярных геофизических факторов на функционирование спутниковых радионавигационных систем: монография. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. 349 с.

## 8.8. Электронные издания

1. Berngardt O.I., Perevalova N.P., Kutelev K.A., Zherebtsov G.A., Dobrynina A.A., Shestakov N.V., Zagretdinov R.V., Bakhtiyarov V.F., Kusonski O.A. Towards the azimuthal characteristics of ionospheric and seismic effects of “Chelyabinsk” meteorite fall according to the data from coherent radar, GPS and seismic network : electronic resource // arXiv.org. 2015. P. arXiv:1506.05863v1. <http://arxiv.org/pdf/1506.05863.pdf>
2. Chertok I.M., Belov A.V., Grechnev V.V. A simple way to estimate the soft X-ray class of far-side solar flares observed with STEREO/EUVI // arXiv.org. 2015. Ст. 1505.01649v2. <http://arxiv.org/pdf/1505.01649.pdf>
3. Firstova N.M. An explanation for difference between physical conditions in two ribbons in the July 23, 2002 flare // Solar Physics E-Print Archive. 2015. <http://solar.physics.montana.edu/cgi-bin/eprint/index.pl?entry=35497>
4. Grechnev V.V., Kiselev V., Meshalkina N.S., Chertok I.M. Relations between microwave bursts and near-Earth high-energy proton enhancements and their origin // arXiv.org. 2015. Ст. 1511.05839v1. <http://arxiv.org/pdf/1511.05839.pdf>
5. Guglielmi A., Potapov A., Dovbnya B. 5-minute Solar Oscillations and Ion Cyclotron Waves in the Solar Wind // arXiv:1504.00133 [physics.space-ph], 2015.
6. Karak B.B., Kitchatinov L.L., Brandenburg A. Hysteresis between distinct modes of turbulent dynamos: // arXiv.org. 2015. Ст. arXiv:1411.0485v2. <http://arxiv.org/pdf/1411.0485.pdf>
7. Kitchatinov L.L., Olemskoy S.V. Dynamo saturation in rapidly rotating solar-type stars: electronic resource // arXiv.org. 2015. Ст. arXiv:1503.07956v1. <http://arxiv.org/pdf/1503.07956.pdf>
8. Kitchatinov L.L., Nepomnyashchikh A.A. Parametric modulation of dynamo waves: electronic resource // arXiv.org. 2015. P. arXiv:1504.01837v2. <http://arxiv.org/pdf/1504.01837.pdf>
9. Kolobov D.Y., Kobanov N.I., Chelpanov A.A., Kochanov A.A., Anfinogentov S., Chupin S.A., Mysh'yakov, I.I., Tomin V.E. Behaviour of oscillations in loop structures above active regions: // arXiv.org. 2015. P. arXiv:1505.02857v1. <http://arxiv.org/pdf/1505.02857.pdf>
10. Kunitsyn V.E., Padokhin A.M., Kurbatov G.A., Yasyukevich Yu.V., Morozov Yu.V. Ionospheric TEC estimation with the signals of various geostationary navigational satellites // GPS Solutions. DOI: 10.1007/s10291-015-0500-2.
11. Mazaeva E., Volnova A., Klunko E., Korobtsev I., Eselevich M., Pozanenko A. GRB

150323C: Additional optical observations in Mondy. GRB Coordinates Network, Circular Service, 17670, 1 (2015).

12. Mazaeva E., Volnova A., Klunko E., Korobtsev I., Eselevich M., Pozanenko A. GRB 150323C: Mondy optical observations. GRB Coordinates Network, Circular Service, 17639, 1 (2015).

13. Mazaeva E., Volnova A., Klunko E., Korobtsev I., Eselevich M., Pozanenko A. GRB 150302A: Mondy optical upper limit. GRB Coordinates Network, Circular Service, 17540, 1 (2015).

14. Mazaeva E., Volnova A., Klunko E., Korobtsev I., Eselevich M., Pozanenko A. GRB 150222A: Mondy optical observations. GRB Coordinates Network, Circular Service, 17489, 1 (2015).

15. Mazaeva E., Volnova A., Klunko E., Korobtsev I., Eselevich M., Pozanenko A. GRB 150211A: Mondy optical upper limit. GRB Coordinates Network, Circular Service, 17443, 1 (2015).

16. Mazaeva E., Volnova A., Klunko E., Korobtsev I., Eselevich M., Pozanenko A. GRB 150120B: Mondy optical observations. GRB Coordinates Network, Circular Service, 17347, 1 (2015).

17. Meshcheryakov A., Tsygankov S.S., Khamitov I., Bikmaev I., Burenin R.A., Eselevich M.V., Vlasyuk, V. Swift/XRT detection of a renewed activity in the transient neutron star X-ray binary Aql X-1 // The Astronomer's Telegram. 2015. # 8095. <http://www.astronomerstelegram.org/?findmsg>

18. Pipin V.V. Dependence of magnetic cycle parameters on period of rotation in non-linear solar-type dynamos: Electronic resource // arXiv.org. 2015. P. arXiv:1412.5284v3. <http://arxiv.org/pdf/1412.5284.pdf>

19. Pipin V.V., Kosovichev A.G. Effects of large-scale non-axisymmetric perturbations in the mean field solar dynamo: Electronic resource // arXiv.org. 2015. P. arXiv:1505.00219v3. <http://arxiv.org/pdf/1505.00219.pdf>

20. Shulyak D., Sokoloff D.D., Kitchatinov L.L., Moss D. Towards understanding dynamo action in M dwarfs: electronic resource // arXiv.org. 2015. Ст. arXiv:1503.04971v1. <http://arxiv.org/pdf/1503.04971.pdf>

## **8.9. Патенты, программы для ЭВМ, базы данных**

1. Пономарчук С.Н. Электрические свойства земной поверхности в КВ-диапазоне // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015613913. 2015.

2. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Котович Г.В., Куркин В.И., Сергеева Л.П. Автоматическая обработка и интерпретация ионограмм наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015614024. 2015.

3. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Котович Г.В., Куркин В.И., Сергеева Л.П. Автоматическая обработка и интерпретация ионограмм наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015614025. 2015.

## **8.10. Статьи, сданные в печать в 2015 г. в российские издания**

1. Андреева О.А., Руденко Г.В., Степанян Н.Н., Файнштейн В.Г. Изменение суммарного магнитного потока Солнца со временем, широтой и высотой // Изв. КрАО. 2015. Т. 111, № 2.

2. Ахтемов З.С., Степанян Н.Н., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В. Структура магнитного поля на высотах 1–1.5 радиуса Солнца // Астрономический журнал.

3. Ахтемов З.С., Степанян Н.Н., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В. Структура магнитного поля на высотах 1–1.5 радиуса Солнца // Изв. КрАО. 2015. Т. 111, № 2.
4. Башкирцев В.С., Машнич Г.П. Солнечная активность, глобальные и региональные изменения климата Земли // Солнечно-земная физика. Боровик А.В., Коняев П.А., Жданов А.А. Построение световых кривых солнечных вспышек в линии Нα // Геомагнетизм и астрономия.
5. Войков С.В., Бернгардт О.И., Шестаков Н.В. Использование индекса возмущенности вертикальных вариаций ПЭС при исследовании ионосферных эффектов Челябинского метеорита // Геомагнетизм и астрономия.
6. Григорьев В.М., Ермакова Л.В. Подъём вещества в формирующейся полутени солнечного пятна // Астрон. журнал.
7. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Кириченко К.Е Природа климатических изменений в XX веке // Изв. ИГУ. Серия Науки о Земле.
8. Кичигин Г.Н. Уединенные БМЗ-волны, распространяющиеся под углом к магнитному полю в холодной бесстолкновительной плазме // Физика плазмы.
9. Кичигин Г.Н., Мирошниченко Л.И., Сидоров В.И., Язев С.А. Скин-слой эruptивного магнитного жгута в крупных солнечных вспышках // Геомагнетизм и астрономия.
10. Н.И. Кобанов, С.А. Чупин, Д.Ю. Колобов. Периодические вариации профилей Ва II 4554 и Са II 8542 в корональных дырах // Письма в АЖ. 2016. Т. 42, № 1.
11. Лубков А.А., Ковадло П.Г., Бевзов А.Н., Будников К.И., Власов С.В., Зотов А.А., Колобов Д.Ю., Курочкин А.В., Котов В.Н., Лылов С.А., Лях Т.В., Максимов А.С., Пере-бейнос С.В., Петухов А.Д., Пещеров В.С., Попов Ю.А., Русских И.В., Томин В.Е. Система автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Автометрия. 2016. № 2.
12. Ларюнин О.А., Подлесный А.В., Романовский О.А. Интерпретация ионограмм наклонного зондирования в приближении сферически-слоистой ионосферы // Солнечно-земная физика.
13. Лубышев Б.И., Обухов А.Г. Двумерная теорема Котельникова с учетом направления сканирования // Вестник ИрГТУ. 2015. Вып. 12.
14. Малащук В.М., Файнштейн В.Г., Степанян Н.Н., Руденко Г.В. Магнитоизолированные комплексы солнечных образований в 24 солнечном цикле // Изв. КрАО. 2015. Т. 111, № 2.
15. Машнич Г.П., Башкирцев В.С. Движения и колебания в волокне перед эruption // Астрон. журнал.
16. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Изменение отношения Fe/O в период возмущенной стадии развития потоков СКЛ // Геомагнетизм и астрономия.
17. Полех Н.М., Золотухина Н.А., Романова Е.Б., Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Подлесный А.В. Ионосферные эффекты магнитосферных и термосферных возмущений 17–19 марта 2015 г. // Геомагнетизм и астрономия.
18. Полякова А.С., Черниговская М.А., Перевалова Н.П. Исследование отклика ионосферы на внезапные стратосферные потепления в азиатском регионе России // Солнечно-земная физика. 2015. Т.1, № 4.
19. Хлыстова, А.И. Горизонтальная составляющая течений фотосферной плазмы при возникновении активных областей на Солнце // Солнечно-земная физика.
20. Шефов Н.Н., Семенов А.И., Медведева И.В. Квазипериодические вариации в атмосферах Солнца, звезд и планет // Доклады академии наук.
21. Язев С.А., Мордвинов А.В., Дворкина-Самарская А.А. Корона во время полного солнечного затмения 20 марта 2015 г. и развитие 24 цикла // Солнечно-земная физика.
22. Mordvinov A.V., Pevtsov A.A., Bertello L., Petrie G.J.D. The reversal of the Sun's magnetic field in cycle 24 // Солнечно-земная физика.

#### **8.11.Статьи, сданные в печать в 2015 г. в зарубежные издания**

1. Afanasyev A.N., Uralov A.M. Slow-mode MHD wave penetration into a coronal null point due to the mode transmission // Solar Physics .

2. Chelpanov M.A., Mager P.N., Klimushkin D.Yu., Berngardt O.I., Mager O.V. Experimental evidence of drift compressional waves in the magnetosphere: an Ekaterinburg coherent decameter radar case study // *Ann. Geophys.*
3. Churilov S.M. Stability of shear flows with multilayered density stratification and mono-tonic velocity profiles having no inflection points // *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics.*
4. Grechnev V.V., A.M. Uralov, A.A. Kochanov, I.V. Kuzmenko, D.V. Prosovetsky, Ya.I. Egorov, V.G. Fainshtein, L.K. Kashapova. A Tiny Eruptive Filament as a Flux-Rope Progenitor and Driver of a Large-Scale CME and Wave // *Solar Physics.*
5. Lipunov V.M., O.A. Gress, K.I. Ivanov, S.A. Yazev et al. The optical identification of events with poorly defined locations: the case of the Fermi GBM GRB 140801A // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* 2016. Vol. 455. PP 712-724.
6. Mishin v.v., Tomozov V.M. // *Solar Physics.*
7. M. De Pasquale, et al., The central engine of GRB 130831A and the energy breakdown of a relativistic explosion // *MNRAS* (January 01, 2016) 455 (1): 1027-1042.
8. Pipin V., Kosovichev A. Generation and Properties of Large-Scale Non-axisymmetric Magnetic Fields by Solar Dynamo // *IAU General Assembly.* 2016.
9. Pipin V., Kosovichev A. Waldmeier's Rules in the Solar and Stellar Dynamos // *IAU General Assembly.* 2016.
10. Shcherbakov A.A., Medvedev A.V., kushnarev D.S., Tolstikov M.V., Alsatkin S.S. Calculation of meridional neutral winds in the middle latitudes from the Irkutsk incoherent scatter radar (IISR) // *Journal of Geophysical Research.*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Структура Института.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Деятельность по научному сопровождению, проектированию и строительству объектов Укрупненного инвестиционного проекта Национального гелио-геофизического комплекса Российской академии наук.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Исследования в области физики Солнца, радиоастрофизики и космических лучей.....</b>	<b>11</b>
3.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности.....	12
3.2. Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере.....	16
3.3. Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца.....	24
3.4. Развитие оптических и радиофизических методов в области астероидно-кометной опасности, техногенного засорения и экологии космического пространства.....	44
3.5. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей .	51
<b>4. Исследования в области физики околоземного космического пространства.....</b>	<b>65</b>
4.1. Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства.....	67
4.2. Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли.....	77
4.3. Исследование динамических процессов в магнитосфере и высокоширотной ионосфере Земли методом обратного рассеяния радиоволн коротковолнового диапазона.....	88
4.4. Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат.....	93
4.5. Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера – ионосфера – магнитосфера Земли.....	115
4.6. Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве.....	135
4.7. Исследование и мониторинг магнитосферно-ионосферных возмущений с использованием пространственно-разнесенных геофизических комплексов.....	143
<b>5. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики.....</b>	<b>181</b>

5.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента.....	182
<b>6. Работа обсерваторий.....</b>	<b>211</b>
6.1. Байкальская астрофизическая обсерватория.....	211
6.2. Саянская солнечная обсерватория.....	213
6.3. Радиоастрофизическая обсерватория.....	215
6.4. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория.....	217
6.5. Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция.....	224
6.6. Геофизическая обсерватория.....	227
6.7. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы.....	229
<b>7. Научно-организационная деятельность.....</b>	<b>234</b>
7.1. Общие сведения.....	234
7.2. Деятельность Ученого совета .....	237
7.3 Деятельность Диссертационного совета.....	238
7.4. Международное сотрудничество.....	239
7.5. Издательская деятельность.....	251
7.6. Работа библиотеки.....	252
7.7. Работа с вузами.....	253
7.8. Работа Научно-образовательного центра.....	253
7.9. Работа музея ИСЗФ СО РАН.....	254
7.10. Работа Совета научной молодежи Института.....	255
7.11. Проведение научных мероприятий.....	257
7.12. Участие в выставках.....	259
7.13. Участие в научных мероприятиях.....	259
<b>8. Публикации.....</b>	<b>260</b>
8.1. Статьи в отечественных журналах.....	260
8.2. Статьи в зарубежных журналах.....	265
8.3. Доклады в сборниках российских конференций.....	271
8.4. Доклады в сборниках международных конференций.....	272
8.5. Тезисы докладов на российских конференциях.....	281
8.6. Тезисы докладов на международных конференциях.....	288
8.7. Монографии.....	303
8.8. Электронные публикации.....	304
8.9. Патенты, программы для ЭВМ, базы данных.....	305
8.10. Статьи, сданные в печать в 2015 г. в российские изданиях.....	305
8.11. Статьи, сданные в печать в 2015 г. в зарубежные изданиях.....	306
<b>Содержание.....</b>	<b>308</b>

Отв. редактор *И.И. Салахутдинова*  
Редакторы *Н.О. Волкова, М.В. Никонова*  
Технические редакторы *Н.В. Купрякова, И.Г. Амбаева*

Отчет утвержден Ученым советом ИСЗФ СО РАН  
(протокол № от.2015 г.)

\*\*\*\*\*

Сдано в набор 19.12.2013 г. Подписано к печати 09.01.2014 г.

Формат 60×90 1/8. Гарнитура *Times New Roman*.  
Усл. печ. л. 36. Уч.-изд. л. 43. Тираж 50. Заказ № 150.

\*\*\*\*\*

*Отпечатано в издательском отделе ИСЗФ СО РАН,  
Иркутск, Лермонтова 126А, а/я 291,  
и в БМБШ ГОУ ВПО «ИГУ»,  
664001, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1*