

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

**О Т Ч Е Т**  
**О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ**  
**И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ**  
**ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 2020 г.**



Иркутск, 2021



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук создан в 1960 г.

Директор Института – чл.-корр. РАН А.В. Медведев.

Научный руководитель Института – академик РАН Г.А. Жеребцов

### **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;

– развитие уникальных стендов и установок, крупных научно-исследовательских комплексов, обработка данных наблюдений наземных и космических средств для решения научных и прикладных задач.

## **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. Тащилин)

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

• Лаборатория развития новых методов радиофизической диагностики атмосферы  
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. К.Г. Раговский)

• Лаборатория физики нижней и средней атмосферы  
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев)

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

- Лаборатория диагностики ионосферы и распространения радиоволн (зав. лаб. — д.ф.-м.н. В.И. Куркин)
- Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория (КМИО) (зав. обсерваторией — д.ф.-м.н. Р.А. Рахматулин)
- Геофизическая обсерватория (ГФО) (зав. обсерваторией — А.В. Татарников)
- Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА) (зав. обсерваторией — А.В. Загорин)
- Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция (Норильская КМИС) (зав. станцией — О.Г. Омелян)

### **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 (зав. лаб. — к.т.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. Еселевич)
  - Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО) (зав. обсерваторией — к.ф.-м.н. А.В. Боровик)
  - Саянская солнечная обсерватория (ССО) (зав. обсерваторией — С.В. Латышев)

### **Конструкторский отдел**

- Зав. отд. — А.Я. Смольков
- Сектор электронной аппаратуры (зав. сектором — А.Я. Смольков)
  - Экспериментальный цех (нач. цеха — В.С. Федотов)

### **Отдел аспирантуры и магистратуры**

Зав. отд. — Е.П. Белоусова

### **Отдел по защите информации и сетевому сопровождению**

Зав. отд. — А.С. Шелопугин

### **Отдел по капитальному строительству**

Рук. отд. — зам. директора по капитальному строительству — П.В. Фадеев

### **Научно-вспомогательное подразделение**

- 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 — Л.Ф. Алешкова)
- Группа переводчиков
- Группа научно-технического сопровождения

#### **Административно-хозяйственные подразделения**

- Отдел кадров (зав. отделом — Е.В. Фрейдман)
- Бухгалтерия (гл. бухгалтер — Е.А. Меньшикова)
- Планово-экономический отдел (зав. отделом — И.Н. Леонова)
- Канцелярия (вед. документовед — О.А. Лушева)
- Службы и группы хозяйственного обслуживания

#### **Руководство Института**

<i>Директор</i>	чл.-корр. РАН А.В. Медведев
<i>Научный руководитель</i>	академик РАН Г.А. Жеребцов
<i>Первый заместитель директора</i>	д.ф.-м.н. С.В. Олемской
<i>Заместители директора по научно-исследовательской работе</i>	д.ф.-м.н. М.Л. Демидов к.ф.-м.н. С.В. Лесовой
<i>Заместитель директора по научной работе и инновационной деятельности</i>	к.ф.-м.н. В.В. Хахинов
<i>Руководитель научного направления по физике Солнца</i>	чл.-корр. РАН В.М. Григорьев
<i>Руководитель научного направления по радиоастрофизике</i>	д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев
<i>Зам. директора по капитальному строительству</i>	П.В. Фадеев
<i>Заместитель директора по общим вопросам</i>	В.М. Алешков
<i>Ученый секретарь</i>	к.ф.-м.н. И.И. Салахутдинова
Адрес:	664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова,
Телефон:	д. 126-А
Факс:	(3952) 42-82-65
e-mail; web:	(3952) 51-16-75, (3952)42-55-57 uzel@iszf.irk.ru; www.iszf.irk.ru

**1. Научно-организационная деятельность согласно постановлению Правительства РФ № 1504 от 26.12.2014 г. «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство объектов капитального строительства «Укрупненный инвестиционный проект «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук», 1 этап», распоряжению Правительства от 01.12.2018 №2659-р.**

Околосземное космическое пространство (ОКП), включающее в себя такие области, как верхняя атмосфера, ионосфера, магнитосфера Земли, представляет собой заполненное плазмой пространство, состояние которого определяется солнечной и геомагнитной активностью. Это пространство продолжает интенсивно изучаться и уже практически включено в сферу непосредственной человеческой деятельности. В ОКП работает большое количество космических аппаратов различного назначения, с помощью которых не только ведутся научные исследования, но и решаются различные задачи прикладного характера, в том числе и в интересах государственной безопасности. Надежность и эффективность работы этих аппаратов определяется как использованием в них новейших технологий, так и состоянием окружающей аппараты среды. Работоспособность и эффективность крупных инженерно-технических систем, таких как системы радиосвязи в широком диапазоне частот, радиолокации (в том числе загоризонтной), радионавигации, радиопеленгации также во многом зависят от состояния ОКП. Поэтому исключительно важно иметь полную информацию о процессах, протекающих в ОКП, и возможность отличать процессы естественного характера от процессов, вызванных искусственными воздействиями.

Национальный гелиогеофизический комплекс международного значения, созданный в СО РАН на базе ИСЗФ СО РАН, включает в себя новые уникальные установки класса Megascience:

*1 этап*

- Солнечный телескоп-коронограф;
- Оптические инструменты;
- Радиогелиограф;

*2 этап*

- Система радаров;
- Нагревный стенд;
- Лидар;
- Центр управления.

Эти установки дополняют имеющуюся приборную базу обсерваторий ИСЗФ СО РАН, расположенных от Заполярья до границы с Монголией:

- Саянская солнечная обсерватория (ССО);
- Байкальская обсерватория физики атмосферы и экологического мониторинга (БОФАЭМ);

- Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО);
- Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория;
- Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА);
- Геофизическая обсерватория (ГФО);
- Обсерватории нелинейной радиофизики (ОНР);
- Радиоастрофизическая обсерватория (РАО);
- Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция филиал ИСЗФ СО РАН.

Глубокое понимание физических процессов, происходящих на Солнце и в ОКП, совершенно необходимо для решения прикладных практических задач. Реализация Национального гелиогеофизического комплекса РАН (НГК РАН) позволит определить основные явления космической погоды, создать задел для прогноза таких явлений, а также для выработки действий, упреждающих негативное влияние на критически важные инженерно-

технические системы различного назначения как космического, так и наземного базирования. НГК РАН позволит России вернуть передовые позиции в области исследований Солнца и ОКП.

Для реализации НГК РАН в Институте была создана рабочая группа (приказ № 84 от 03.10.2013 г.) по сопровождению проектирования и строительства объектов НГК РАН. Возглавляет рабочую группу академик Г.А. Жеребцов, заместители — директор Института д.ф.-м.н. А.В. Медведев и зам. директора по научной работе д.ф.-м.н. С.В. Олемской. Ответственные руководители и исполнители по объектам:

«Солнечный телескоп-коронограф»: ответственный руководитель объекта — руководитель научного направления по физике Солнца член-корр. РАН В.М. Григорьев; зам. ответственного руководителя — зам. директора по научной работе д.ф.-м.н. М.Л. Демидов; ответственный исполнитель — зав. лабораторией к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов.

«Радиогелиограф»: ответственный руководитель объекта — руководитель научного направления по радиоастрофизике д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев; зам. ответственного руководителя — зам. директора по научной работе к.ф.-м.н. С.В. Лесовой.

«Система радаров» (некогерентные радары): ответственный руководитель объекта — зав. отделом д.ф.-м.н. В.И. Куркин; ответственный исполнитель — зав. лабораторией к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

«Система радаров» (НР-МСТ): ответственный руководитель объекта — директор д.ф.-м.н. А.В. Медведев; ответственный исполнитель — с.н.с. к.ф.-м.н. Д.С. Кушнарв.

«Оптические инструменты, лидар»: ответственный руководитель — зав. лабораторией к.ф.-м.н. Р.В. Васильев; ответственный исполнитель — с.н.с. к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий.

«Нагревной стенд»: ответственный руководитель — зав. лабораторией к.ф.-м.н. Р.В. Васильев.

«ЦОД»: ответственный руководитель — зав. лабораторией к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов; зам. ответственного руководителя — с.н.с. к.ф.-м.н. Д.С. Кушнарв.

По строительным работам всех объектов ответственным руководителем является зам. директора по капитальному строительству П.В. Фадеев, ответственным исполнителем — гл. специалист В.В. Зайцева.

По общим организационным и финансовым вопросам при сопровождении проекта ответственным руководителем является зам. директора по научной работе д.ф.-м.н. С.В. Олемской, ответственными исполнителями — гл. бухгалтер Е.А. Меньшикова, зам. руководителя контрактной службы С.А. Батаев, экономист-бухгалтер ОКС В.В. Фудим, зам. гл. бухгалтера А.А. Максимова.

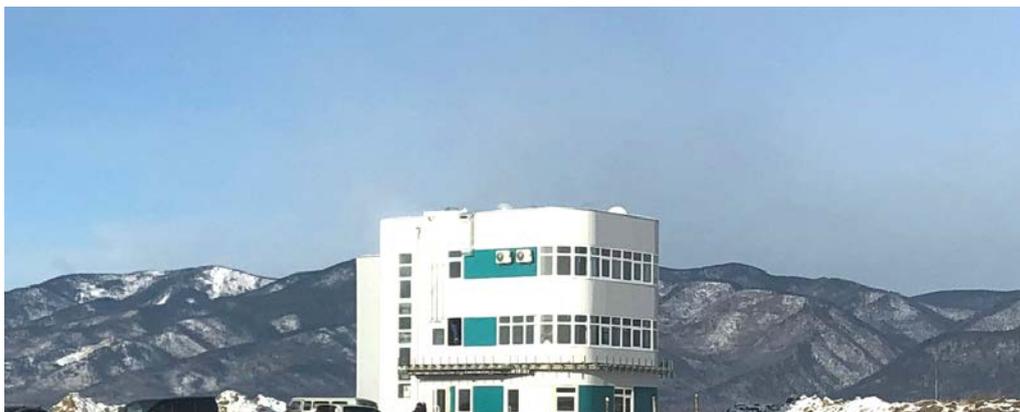
На сегодняшний день в рамках реализации НГК РАН был проведен комплекс следующих мероприятий:

1. Выполнен комплекс проектно-изыскательских работ по объекту «Оптические инструменты» с последующим получением положительных заключений Государственной экологической экспертизы и Главгосэкспертизы, на основании которых получено согласование социально-экономической деятельности, и разрешением на строительство объекта.

По итогам 2018 г. заключены государственные контракты на выполнение работ по капитальному строительству, поставке и монтажу инженерного и технологического оборудования объектов. Генеральным подрядчиком выступает АО ЛЗОС.

Заключен ряд сопутствующих контрактов, позволяющих осуществлять авторский надзор, строительный контроль, организовать технологическое присоединение электропринимающих устройств, а также обеспечить объекты технологическим, электротехническим, энергетическим и общезаводским оборудованием и аппаратурой.

В настоящий момент завершено выполнение работ по строительству объекта «Оптические инструменты» (рис. 1.1–1.7).



*Рис. 1.1.* Технический корпус



*Рис. 1.2.* Интерферометры Фабри—Перо (на переднем плане) и камеры всего неба (на заднем плане) в северной комнате технического корпуса



*Рис. 1.3.* Интерферометр Фабри—Перо (слева) и камера всего неба (справа) на подъемнике в северной комнате технического корпуса



*Рис. 1.4.* Камера всего неба в подкупольном пространстве



*Рис. 1.5.* Спектрометр видимого (слева) и инфракрасного (справа) диапазонов на подъемниках в южной комнате технического корпуса



*Рис. 1.6.* Двухканальные фотометры на подъемниках в южной комнате технического корпуса



Рис. 1.7. Двухканальный фотометр в подкупольном пространстве.

2. Выполнен комплекс проектно-изыскательских работ по объекту «Радиогелиограф» с последующим получением положительных заключений Государственной экологической экспертизы и Главгосэкспертизы, на основании которых получено согласование социально-экономической деятельности, и разрешением на строительство объекта.

По итогам 2018 г. заключены Государственные контракты на выполнение работ по капитальному строительству, поставке и монтажу общинженерного и технологического оборудования объектов. Генеральным подрядчиком выступает АО ЛЗОС.

Более того заключен ряд сопутствующих контрактов, позволяющих осуществлять авторский надзор, строительный контроль, а также обеспечение технологического присоединения электропринимающих устройств, и обеспечение объектов технологическим, электротехническим, энергетическим и общезаводским оборудованием и аппаратурой.

В настоящее время ведется выполнение работ по капитальному строительству и монтажу научного оборудования (рис. 1.8–1.10).



Рис. 1.8. Радиогелиограф. Вид сверху



Рис. 1.9. Западный луч антенных решеток



Рис. 1.10. Вид на северный луч антенной решетки 3-6 ГГц. Объект: Радиогелиограф.

3. Выполнены работы по созданию документации по объектам.

#### *Солнечный телескоп-коронограф*

В ходе ранее выполненных работ были получены основные эскизные решения по оптической системе телескопа, механике и монтажке телескопа, системе охлаждения главного фокуса; куполу телескопа; системе активной и адаптивной оптики; вакуумированию оптического пути внутри здания телескопа; системе управления телескопом, купола, поворотной платформой. Решения основаны на соответствующих расчетах, а также на опыте изготовления отдельных компонентов других телескопов — в частности, узла главного зеркала солнечного телескопа DKIST. Важным для достижения характеристик является конструкция узла активной оправы главного зеркала, обеспечивающей исправление волнового фронта рядом с фокусом оптической системы, где тепловой поток солнечного излучения достигает 6 кВт. Входная апертура телескопа располагается на высоте 30 м для устранения влияния приземных слоев турбулентной атмосферы на качество изображения. Высота здания башни с куполом — 42 м, общий вес основных узлов — 700 т.

В 2018 г. завершено проектирование основного оборудования: телескопа, вращающейся платформы и купола. Решены принципиальные вопросы по конструкции оптической системы телескопа, а также проблемы обеспечения требуемого качества изображе-

ния с помощью систем активной и адаптивной оптики, а также систем термостабилизации. Проект солнечного телескопа-коронोगрафа является уникальным и реализуется на высочайшем научно-техническом уровне в кооперации с АО ЛЗОС и компанией AMOS.

Проектом обеспечиваются требуемые характеристики телескопа по пространственному разрешению телескопа 0.1 угл. сек, полю зрения 2", спектральному диапазону 380–2300 нм, точности наведения и компенсации вращения изображения в фокальной плоскости, а также компенсации атмосферных искажений волнового фронта.

Проведен комплекс инженерных изысканий, выполнено проектирование зданий и сооружений объекта.

Проведен технологический аудит инвестиционного проекта.

#### *Система радаров*

НР-МСТ-радар должен являться многоцелевым комплексом, позволяющим быстро осуществлять переход на решение новых задач. Радар должен обеспечивать проведение экспериментов по управляемому воздействию на ионосферу мощными радиоволнами, исследовательские работы по изучению влияния процессов в ОКП на технологические системы и осуществлять информационное сопровождение разработок перспективных систем слежения и контроля за космическими аппаратами. В рамках создания документации был разработан аванпроект НР-МСТ-радара на его основное оборудование, в дальнейшем были разработаны технический и рабочий проекты.

Для проведения полноценных исследований МСТ-НР-радар должен обладать определенными характеристиками, которые закладываются при его разработке и строительстве. Диапазон высот, в котором проводятся измерения, начинается с 2–5 км, что должно означать отсутствие местных отражений от окружающего ландшафта дальше этой зоны. По этой причине установка должна размещаться в котловине, чтобы в любом направлении края котловины заведомо перекрывали близлежащие возвышенности (горы, холмы и пр.). С другой стороны, угол укрытия котловины должен позволить осуществлять сканирование ДН в заданном диапазоне углов. Третий фактор — сильный фон излучения вблизи антенной системы. Поэтому должны быть обеспечены меры безопасности как для обслуживающего персонала, так и для близлежащих населенных пунктов.

Выбор площадки для размещения НР-МСТ-радара НГК был выполнен с учетом обеспечения всех требований при выполнении поставленных научных задач, а также обеспечения наиболее экономически выгодной и социально безопасной эксплуатации будущей установки. Комплекс рекогносцировочных работ по выбору площадки учитывал следующие факторы:

- удаленность объекта от Иркутска — не более 300 км;
- возможность подведения линий электропередач с обеспечением мощности около 4 МВт (5 МВА);
- возможность подведения дороги с твердым покрытием для строительства и эксплуатации объекта;
- расположение площадки в зоне с однородными грунтами без заболоченных, оползневых и карстовых участков.

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2399 «Об утверждении перечня видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» объекты капитального строительства «Укрупненного инвестиционного проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук» исключены из перечня видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории.

## 2. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

### 2.1. Исследования в области физики Солнца, радиофизики и космических лучей

#### 2.1.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности

##### 2.1.1.1. Длительный цикл крутильных колебаний Солнца

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности», руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.В. Пипин (ИСЗФ СО РАН), проф. А.Г. Косовичев (Центр численной гелиофизики технологического института Нью-Джерси, США).

Результаты численного моделирования показали, что зоны ускоренного и замедленного вращения распространяются как волны от высоких широт к экватору из глубины конвективной оболочки Солнца. На поверхности Солнца волны ускоренного и замедленного вращения появляются вблизи широт  $\pm 50^\circ$  и мигрируют к экватору, следуя широте появления солнечных пятен. Численное моделирование (рис. 2.1.1.1.1) показало, что длительный цикл крутильных колебаний Солнца (20-летние зональные вариации вращения) возбуждается при достаточно сильном перекрытии динамо-волн, когда начало магнитного цикла на высоких широтах примерно совпадает с окончанием предыдущего цикла того же знака на экваторе. Еще один механизм, обуславливающий 20-летние крутильные колебания, связан с влиянием магнитных полей на конвективный теплоперенос. Данный эффект приводит к модуляции вариаций меридиональной циркуляции в магнитном цикле. Модель предсказывает 20-летние колебания меридиональной циркуляции, сопровождающие зональные вариации скорости вращения. Вариации меридиональной циркуляции вместе с другими драйверами крутильных колебаний, такими как магнитные напряжения и сила Лоренца, поддерживают миграцию крутильных колебаний от высоких широт к экватору в течение полного магнитного цикла.

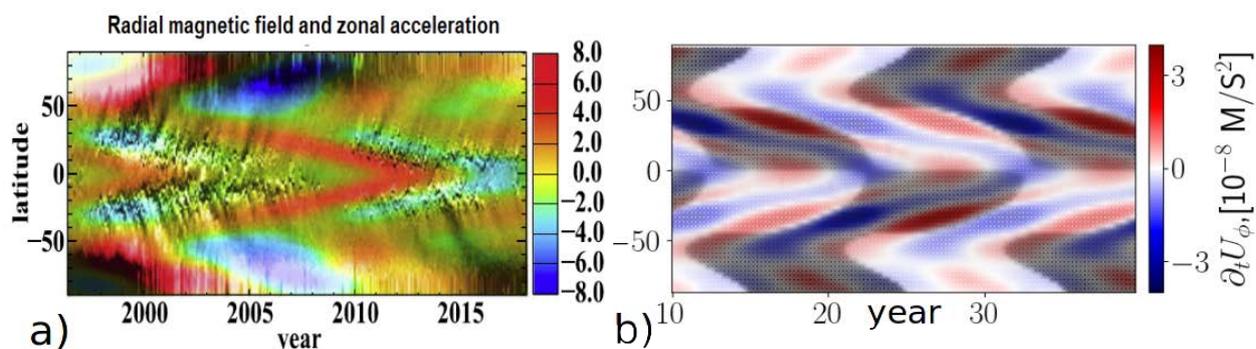


Рис. 2.1.1.1.1. Наблюдаемое широтно-временное распределение радиального магнитного поля (серая шкала, Гс) и зональное ускорение угловой скорости вращения Солнца (цветная шкала,  $10^{-8} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ ) (a); аналогичные характеристики для модели динамо (b)

#### Публикации:

Pipin A.A., Kosovichev A.G. On the origin of solar torsional oscillations and extended solar cycle // *Astrophys. J.* 2019. Vol. 887, no. 2, 215. DOI: 10.3847/1538-4357/ab5952.

Pipin A.A., Kosovichev A.G. Torsional oscillations in dynamo models with fluctuations and potential for helioseismic predictions of the solar cycles // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 900, 26. DOI: 10.3847/1538-4357/aba4ad.

### 2.1.1.2. Реконструкция магнитных полей Солнца в циклах 15–19 по данным обсерватории Кодайканал

Проект РФФИ № 19-52-45002\_ИНД\_а «Многочисленные обращения полярных магнитных полей Солнца и их физические причины». Руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов, к.ф.-м.н. А.И. Хлыстова, Е.М. Голубева (ИСЗФ СО РАН), Б.Б. Карак, Д. Баннерджи, С. Чаттерджи (Институт технологий Варанаси, обсерватория Кодайканал, Индия).

Разработан метод реконструкции магнитного поля Солнца по наблюдениям в линиях Ca II K и H $\alpha$ . Выполнена реконструкция магнитных полей по данным обсерватории Кодайканал. Изучено развитие активности в северном и южном полушариях Солнца в циклах 15–19 (рис. 2.1.1.2.1, *a, c*). Широтно-временной анализ синоптических карт позволил исследовать обращения полярных магнитных полей (рис. 2.1.1.2.1, *b*). Анализ эволюции магнитных полей выявил трехкратные обращения полярных магнитных полей в циклах 16 и 19. Сложный характер обращения магнитных полей связан с формированием сердечей хвостовых и ведущих полярностей, их чередованием в периоды переполюсовок. Показано, что сердечья ведущих полярностей (штриховые стрелки) возникают после распада активных областей, наклоны которых не соответствуют законам Джоя и Хейла. Обнаружены физические связи между смежными циклами активности, которые проявляются в виде сердечей магнитного потока (точечные стрелки).

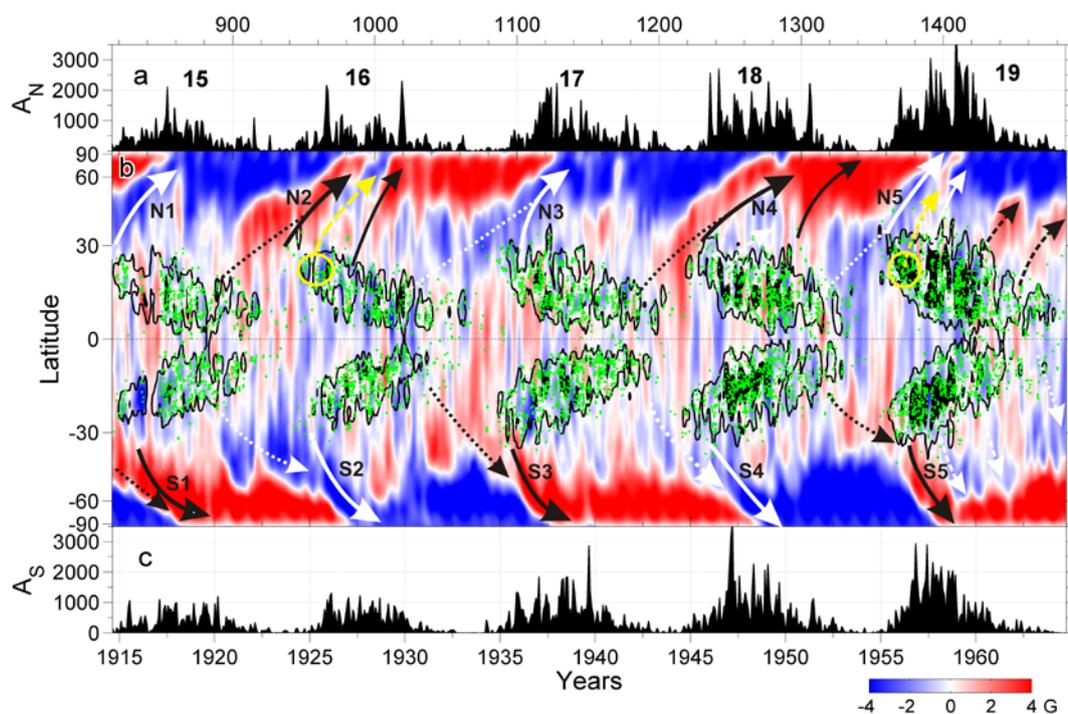


Рис. 2.1.1.2.1. Изменения площадей пятен в северном (*a*) и южном (*c*) полушариях Солнца. Широтно-временное распределение усредненных магнитных полей (*b*, красно-синие тона). Области интенсивного пятнообразования отмечены черным пятнами и контурами. УМО хвостовых полярностей (сплошные стрелки) дают основной вклад в формирование нового магнитного поля. УМО ведущих полярностей (пунктирные стрелки) формируются после распада активных областей, не соответствующих законам Хейла и Джоя (зеленые точки, желтые овалы)

#### Публикация:

Mordvinov A.V., Karak B.B., Banerjee D., Chatterjee S., Golubeva E.M., Khlystova A.I. Long-term evolution of the Sun's magnetic field during cycles 15–19 based on their proxies from Kodaikanal solar observatory // *Astrophys. J. Lett.* 2020. Vol. 902, L15. 6 p. DOI: 10.3847/2041-8213/abba80.

### 2.1.1.3. Реструктуризация магнитных полей Солнца и центры вспышечной активности в цикле 24

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.В. Боровик, д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов, Е.М. Голубева, А.А. Жданов.

Выполнен анализ развития магнитной активности Солнца и его вспышечной активности в цикле 24. Показано, что значительная северо-южная асимметрия магнитной активности сопровождалась асинхронной реорганизацией магнитных полей Солнца в северном и южном полушариях (рис. 2.1.1.3.1, а, в). Широтно-временной анализ показал, что малые вспышки часто появляются вблизи границ долгоживущих магнитных структур, где происходит интенсивное всплытие нового магнитного потока и накопление энергии в вышележащих магнитных полях. Наибольшая концентрация вспышек наблюдается там, где происходит разделение униполярных магнитных областей противоположных полярностей и формируются серджи магнитного потока (рис. 2.1.1.3.1, б). При этом в вышележащих слоях атмосферы формируются горизонтальные магнитные поля. Взаимодействие новых всплывающих магнитных потоков с вышележащими магнитными полями приводит к образованию долгоживущих центров вспышечной активности. Значительная северо-южная асимметрия магнитной активности Солнца привела к асинхронной реструктуризации цикла 24. Детальные пояснения доступны по ссылке <https://rdcu.be/b4YEy>.

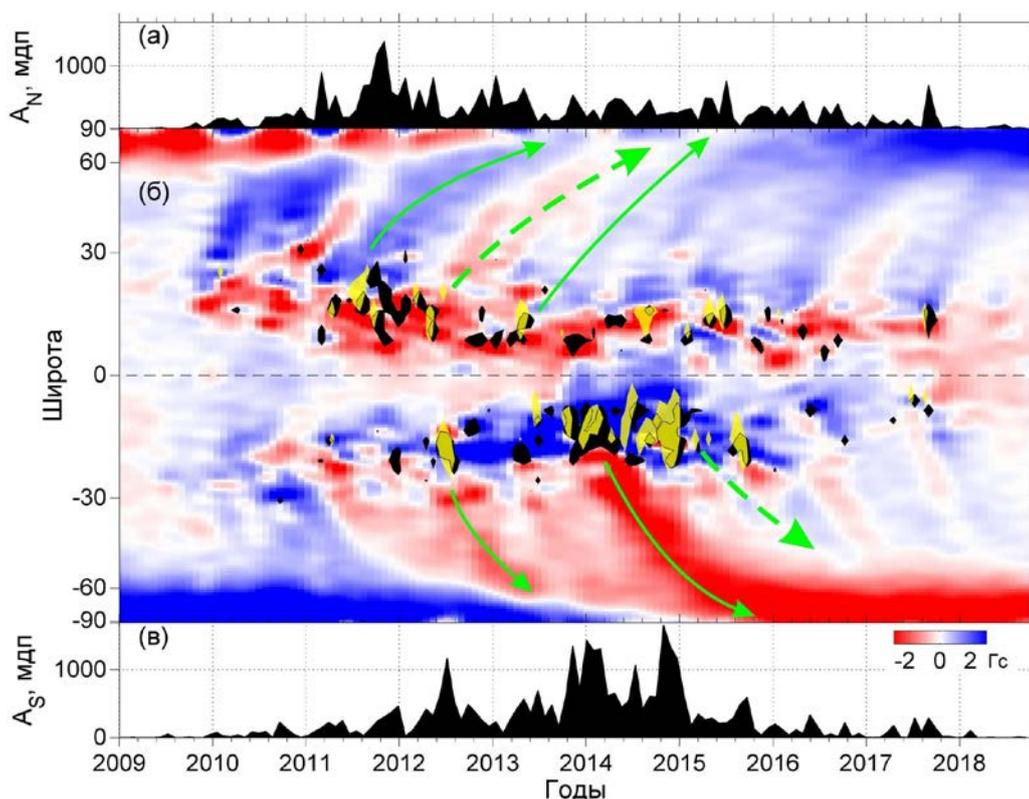


Рис. 2.1.1.3.1. Изменения площадей пятен в северном (а) и южном (в) полушариях. Широтно-временное распределение магнитных полей (б, красно-синие тона). Области интенсивного пятнообразования и центры вспышечной активности отмечены черным и желтыми пятнами. Серджи магнитного потока показаны стрелками

#### Публикация:

Боровик А.В., Мордвинов А.В., Голубева Е.М., Жданов А.А. Реструктуризация магнитных полей Солнца и центры вспышечной активности в цикле 24 // *Астрономический журнал*. 2020. Т. 97, № 6. С. 521–528. DOI: 10.31857/S0004629920070014.

## 2.1.2. Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере

### 2.1.2.1. Моделирование эффекта радиозэха в турбулентной солнечной короне

Проект «Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере». Руководители — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Автор результата — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

Дрейфующие пары представляют собой необычный вид тонкой спектральной структуры в метровом солнечном радиоизлучении: они выглядят как две параллельные узкие полосы в динамическом спектре, сдвинутые во времени на 1–2 с. Для интерпретации данного явления было проведено численное моделирование распространения радиоволн в солнечной короне методом Монте-Карло, с учетом анизотропной турбулентности плазмы (рис. 2.1.2.1.1). Показано, что данная модель может воспроизвести все наблюдаемые характеристики дрейфующих пар, включая задержку между компонентами и видимые размеры источников излучения. Ключевыми условиями для формирования дрейфующих пар являются высокая анизотропия плазменной турбулентности относительно магнитного поля (с характерными масштабами в поперечном направлении на порядок меньше, чем в продольном) и малая длительность исходных радиовсплесков. Полученные результаты открывают возможности диагностики плазменной турбулентности в солнечной короне по наблюдениям радиовсплесков с тонкой структурой.

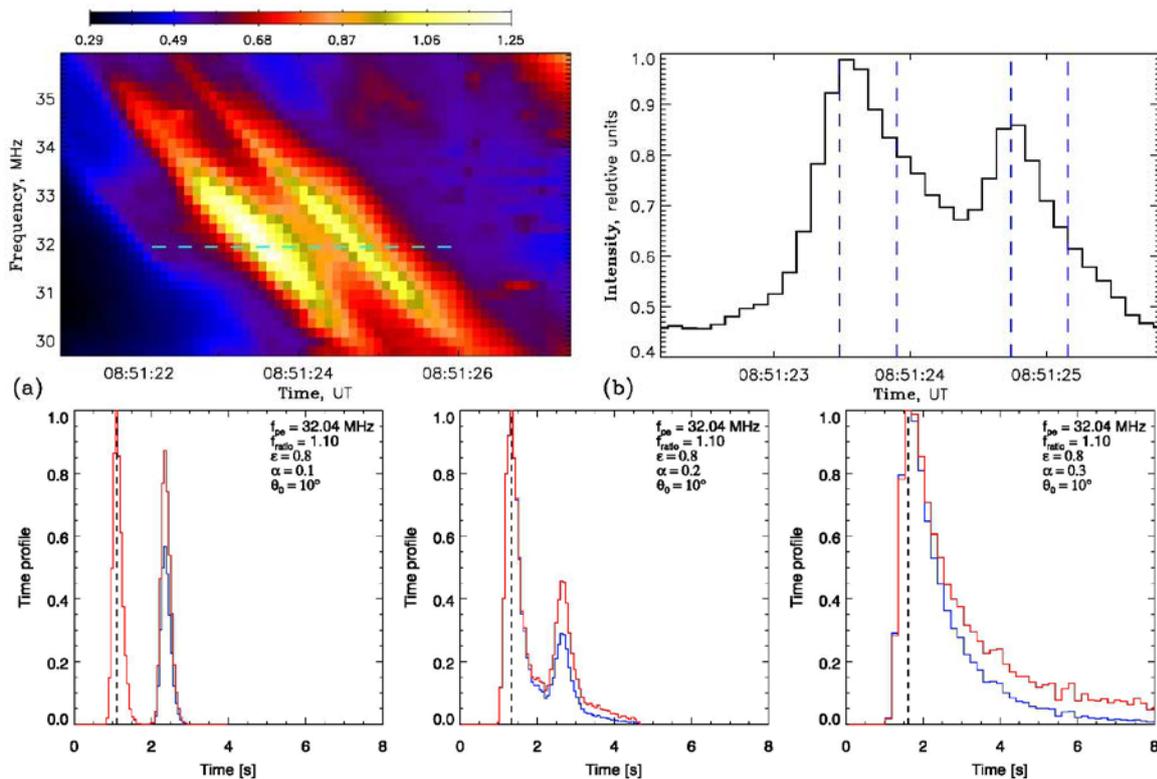


Рис. 2.1.2.1.1. Вверху: динамический спектр типичной дрейфующей пары (по наблюдениям радиотелескопа LOFAR (a) 12 июля 2017 г.) и соответствующие временные профили (b) интенсивности излучения на фиксированной частоте (32 МГц). Внизу: модельные временные профили интенсивности радиоизлучения для трех различных уровней анизотропии плазменных флуктуаций (меньшие значения параметра  $\alpha$  соответствуют более высокой анизотропии).

#### Публикация:

Kuznetsov A.A., Chrysaphi N., Kontar E.P., Motorina G. Radio echo in the turbulent corona and simulations of solar drift-pair radio bursts // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 898, id. 94. DOI: 10.3847/1538-4357/aba04a.

### 2.1.2.2. Свойства локальных колебаний в нижней атмосфере над солнечным пятном

Проект «Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере». Руководители — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Авторы результата — Р.А. Сыч (ИСЗФ СО РАН), Yuzef Zhugzhda (ИЗМИРАН), Xiaoli Yan (Yunnan Observatories, Chinese Academy of Sciences, People's Republic of China).

Впервые получены изображения тонкой структуры источников колебаний в пятне на уровнях фотосферы  $\text{TiO } 7057 \text{ \AA}$  и хромосферы  $\text{Ha } 6563 \text{ \AA}$  с использованием Goode Solar Telescope с рекордным угловым разрешением. Показано, что на уровне хромосферы колебания складываются из совокупности множества независимых осцилляций различной амплитуды, генерируемых локальными источниками малого углового размера (рис. 2.1.2.2.1). Их пространственная структура трансформируется от точечной и ячеистой в тени к волокнистой в полутени. Каждой узкой гармонике спектра соответствует свой источник, без глобальной корреляция между ними. На уровне фотосферы области с фазированными широкополосными колебаниями охватывают всю тень пятна в виде стоячих волн. Максимальное значение 3-минутной гармоники наблюдается в маленьких ярких структурах (umbra dots). Найденное увеличение угловых размеров источников на уровне хромосферы по сравнению с фотосферой связано с расширением магнитных волноводов с высотой. Полученные распределения источников волн указывают на существование двух эффектов, ответственных за наблюдаемое формирование колебаний в пятнах: первый связан с существованием подфотосферного резонатора для медленных волн, второй эффект — частотное обрезание волн из-за наклона магнитных силовых линий в тени и полутени.

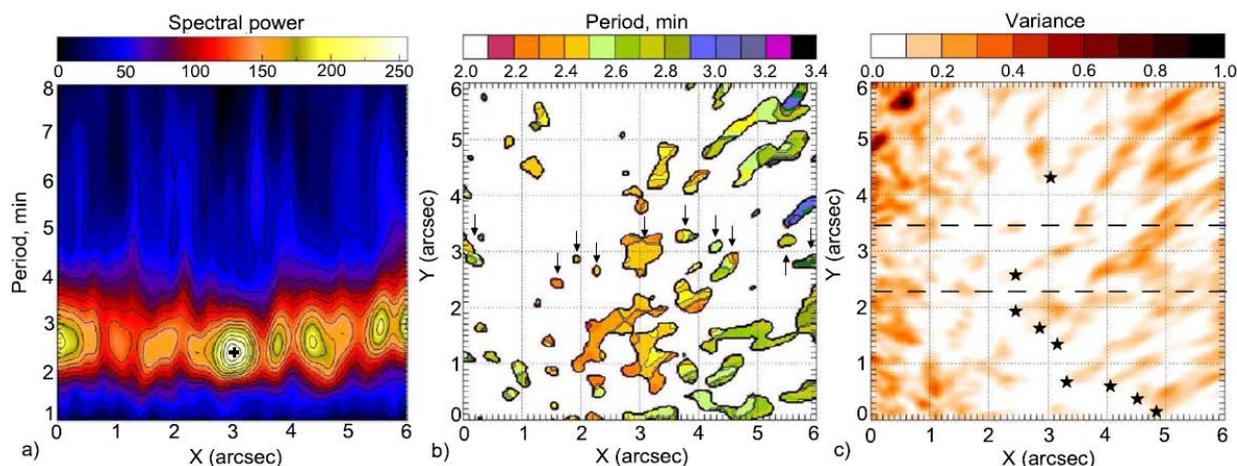


Рис. 2.1.2.2.1. Одномерное спектральное распределение мощности колебаний в хромосфере (a). Карта периодов колебаний (b). Стрелки указывают источники локальных колебаний, соответствующие мощным источникам на периодограмме (a). Дисперсионная карта колебаний интенсивности (c). Горизонтальные штриховые линии показывают область сканирования. Звездочками отмечены основания магнитных волноводов.

#### Публикация:

Sych R., Zhugzhda Yu., Yan Xiaoli Properties of local oscillations in the lower sunspot // Atmos. Astrophys. J. 2020. Vol. 888, no. 2, 84. DOI: 10.3847/1538-4357/ab5a78.

### 2.1.2.3. Концентрация низкочастотных колебаний в фотосфере, предшествующая появлению активной области

Проект «Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере». Руководители — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.А. Челпанов, д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов.

Выполнены многоуровневые исследования колебательных процессов, сопровождающих эволюцию активной области АО 12744, зарегистрированную как первая АО нового цикла. В анализе использованы собственные наблюдения в спектральных линиях  $H\alpha$ , Si II 10827 Å, He I 10830 Å и данные SDO в линиях Fe I 6173, 1600, 304, 171 Å. В максимальной фазе развития АО наблюдалась четкая картина корональных петель, с которой хорошо совпадало пространственное распределение низких частот в линии 171 Å (рис. 2.1.2.3.1). Выявлено, что на фотосферном уровне зарождению АО предшествовала концентрация низкочастотных осцилляций (1–2 мГц) в центральной части будущей АО. Авторы предполагают, что этот факт может служить предвестником появления АО с развитой структурой корональных петель, пересоединение которых является наиболее вероятным источником вспышечных явлений при дальнейшей эволюции АО.

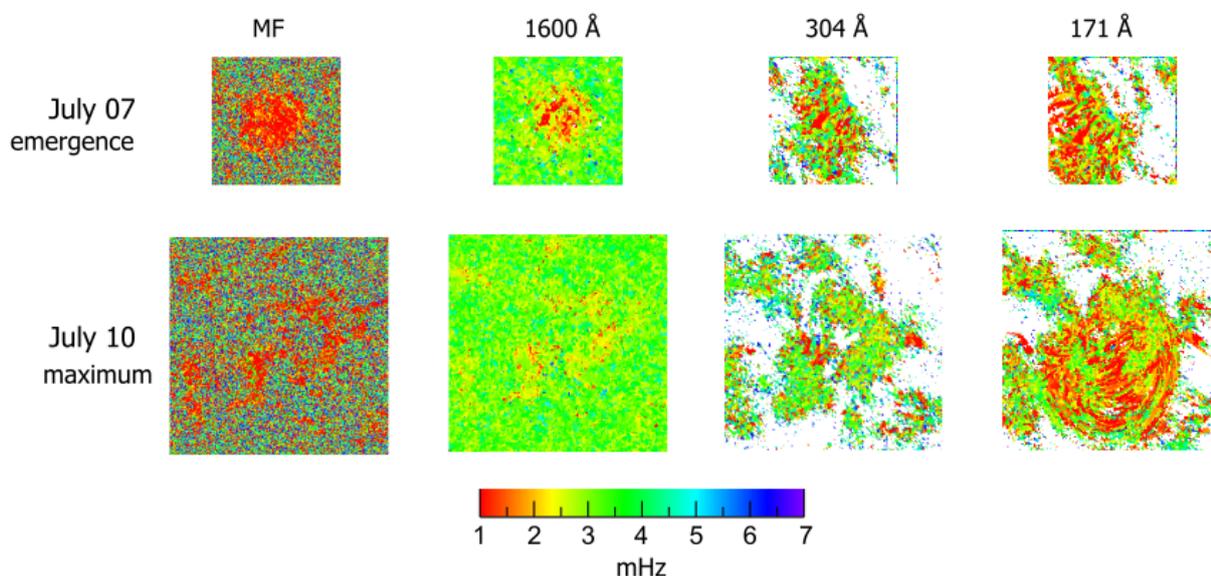


Рис. 2.1.2.3.1. Пространственное распределение доминирующих частот: верхний ряд — перед появлением АО; нижний — момент максимального развития системы корональных петель

#### Публикация:

Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Multilevel observations of the oscillations in the first active region of the new cycle // Sol. Phys. Vol. 295, iss. 7, article id. 94. DOI: 10.1007/s11207-020-01664-6.

### 2.1.2.4. Вспышечная модуляция р-мод как средство зондирования верхней солнечной атмосферы

Проект «Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере». Руководители — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев, д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.А. Челпанов, д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов.

В работе предлагается использовать тот факт, что солнечная вспышка модулирует амплитуды колебаний с частотами 3.3 и 5.6 мГц, которые почти всегда присутствуют в нижних слоях солнечной атмосферы. Модуляция выражается в резком усилении амплитуды этих колебаний до пяти раз. Образовавшиеся компактные цуги колебаний с большой ампли-

тудой на этих частотах легко прослеживаются при распространении колебаний снизу в верхние слои солнечной атмосферы. После выявления цугов в сигналах на разных высотных уровнях измеряют запаздывание сигналов между соседними уровнями. Для этого фиксируют моменты пересечения сравниваемыми сигналами нулевой линии. При этом неопределенность в измерении времени запаздывания сигналов уменьшается (рис. 2.1.2.4.1).

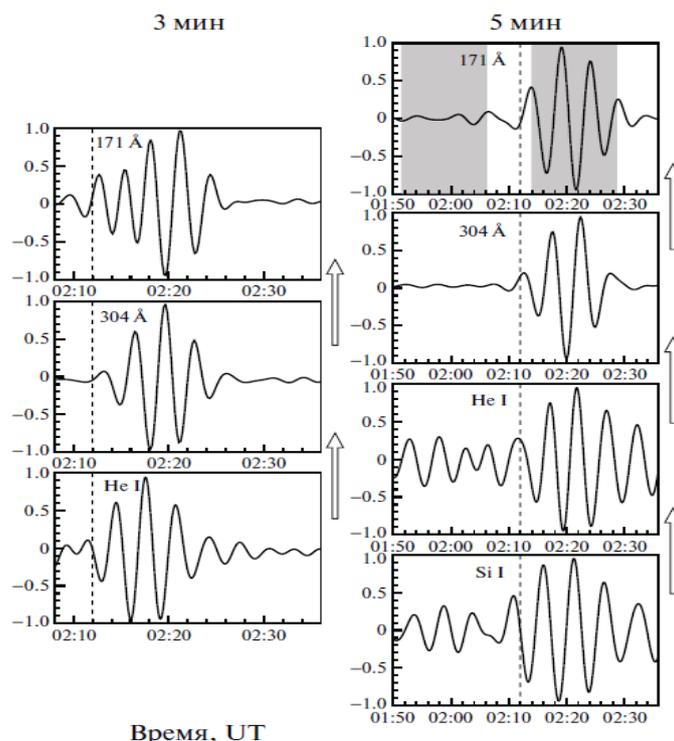


Рис. 2.1.2.4.1. Запаздывание 3-минутных (левая колонка) и 5-минутных (правая колонка) сигналов при распространении в верхние слои солнечной атмосферы

#### Публикация:

Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Three- and five-minute oscillations modulated by flares as a means of solar atmosphere sensing // *Astron. Rep.* 2020. Vol. 64, iss. 4. P. 363–368. DOI: 10.1134/S1063772920030026.

#### 2.1.2.5. Пространственные и временные вариации формы контуров линии К Са II

Проект «Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере». Руководители — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Авторы результата — к.ф.-м.н. И.П.Турова, к.ф.-м.н. С.А.Григорьева, О.А.Ожогина.

В работе использовалась уточненная методика определения сдвигов контура линии К Са II —  $\Delta\lambda_{K1v}$  и  $\Delta\lambda_{K1r}$ ,  $\Delta\lambda_{K2v}$  и  $\Delta\lambda_{K2r}$ , включая случаи, когда их прямое нахождение затруднено. Вычислены параметры контура линии для минимумов интенсивности  $K_1$  и пиков  $K_2$ , которые образуются на высотах между верхней фотосферой и нижней хромосферой и в нижней хромосфере соответственно. К ним, кроме  $\Delta\lambda_{K1v}$  и  $\Delta\lambda_{K1r}$ ,  $\Delta\lambda_{K2v}$  и  $\Delta\lambda_{K2r}$ , относятся интенсивности  $I_{K1v}$ ,  $I_{K1r}$ ,  $I_{K2v}$ ,  $I_{K2r}$ , разделения минимумов  $K_1$  и пиков  $K_2$ :  $SEP_{K1} = \Delta\lambda_{K1r} - \Delta\lambda_{K1v}$ ,  $SEP_{K2} = \Delta\lambda_{K2r} - \Delta\lambda_{K2v}$  соответственно. Показано, что интенсивности, которые наблюдаются в нижней и средней хромосфере, связаны между собой сильнее, чем интенсивности, относящиеся к верхней фотосфере и средней хромосфере. Структуры с усиленным магнитным полем более яркие на уровне верхней фотосферы и нижней хромосферы. Слабая зависимость между сдвигами  $\Delta\lambda_{K1v}$  и  $\Delta\lambda_{K1r}$  и между сдвигами  $\Delta\lambda_{K2v}$  и  $\Delta\lambda_{K2r}$  может быть обусловлена как значительной ролью случайных движений по сравнению с систематическими волновыми движениями, так и разностью высот образования фи-

олетового и красного крыльев или действием обоих факторов. В контурах, принадлежащих структурам с усиленным магнитным полем, величина разделения минимумов  $K_1$  больше, чем в структурах с более слабым магнитным полем. Для разделения максимумов  $K_2$  имеет место обратная зависимость от интенсивностей  $I_{K1}$ ,  $I_{K2}$ ,  $I_{K3}$  по сравнению с разделением минимумов  $K_1$ . Средние значения  $SEP_{K2}$  для структур с усиленным магнитным полем меньше, чем для структур с более слабым полем.

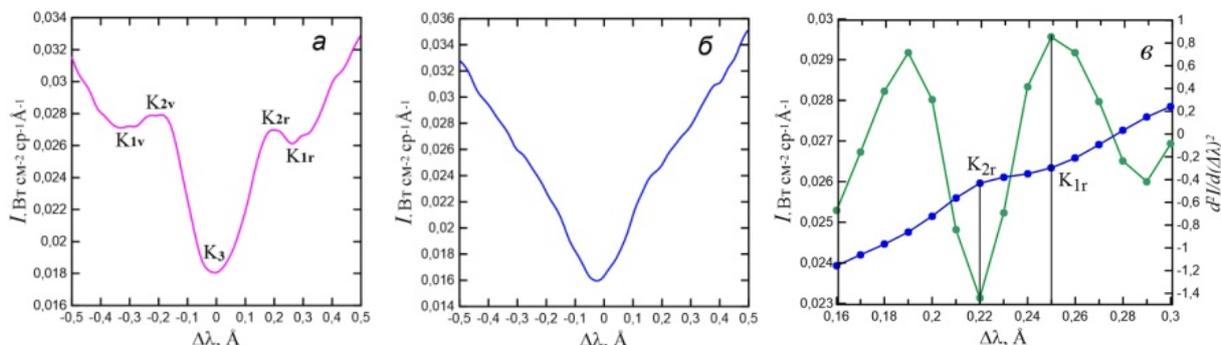


Рис. 2.1.2.5.1. Контурсы линии К Ca II в области S25W17: а — для одного из районов с повышенной яркостью; б — для ячейки c1; в — результат поиска положения участков  $K_1$  и  $K_2$  для красного крыла контура линии К, приведенного на панели б. Синий цвет — интенсивность, зеленый цвет — вторая производная интенсивности на участке поиска. Вертикальными линиями отмечены положения участков  $K_1$  и  $K_2$

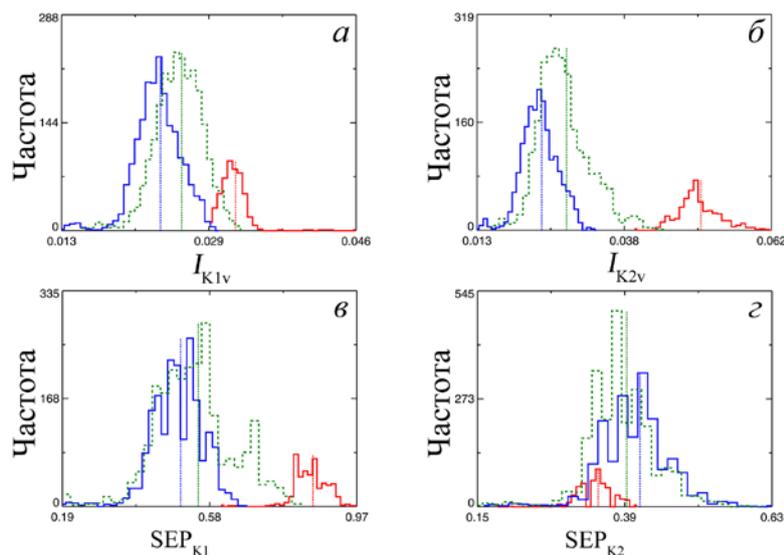


Рис. 2.1.2.5.2. Гистограммы распределений интенсивностей  $I_{K1v}$ ,  $I_{K2v}$ , разделений минимумов  $SEP_{K1}$ , разделений пиков  $SEP_{K2}$ . Распределение структур с (ячейка) обозначено синим цветом, n (сетка) — зеленым и b (флоккул) — красным цветом. Вертикальные линии отмечают средние значения распределений

Методика определения  $\Delta\lambda_{K1v}$  и  $\Delta\lambda_{K1r}$ ,  $\Delta\lambda_{K2v}$  и  $\Delta\lambda_{K2r}$ , а также два последних результата проиллюстрированы рисунками 2.1.2.5.1 и 2.1.2.5.2.

### Публикация:

Турова И.П., Григорьева С.А., Ожогина О.А. Пространственные и временные вариации формы контуров линии К Ca II в различных структурных образованиях солнечной хромосферы. II. Методика определения и корреляционные соотношения между параметрами линии для участков  $K_1$  и  $K_2$  // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 4. С. 10–17. DOI: 10.12737/szf-64202002.

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

#### 2.1.3.1. Метод ранней диагностики солнечного цикла

Проект «Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.В. Просовецкий. Автор результата — к.ф.-м.н. А.А. Головко.

Предложен метод ранней диагностики начала солнечного цикла по массовому появлению эфемерных активных областей на средних гелиоширотах в диапазоне от  $40^\circ$  до  $60^\circ$ .

Магнитные узлы выявлялись на стадии их возникновения методом мультифрактальной сегментации, использованном ранее для фиксации новых магнитных потоков активных областей в зоне низких гелиоширот. Проведена статистика числа магнитных узлов, фиксируемых таким методом, по данным магнитографа SOLIS NSO для 24-го цикла солнечной активности, а также для начала 25-го цикла активности (рис. 2.1.3.1.1). Обнаружен предвестник 24-го солнечного цикла в виде всплеска числа магнитных узлов в 2007–2008 гг., значительно превышающего его фоновое значение, характерное для периода 2011–2015 гг. Спустя два года стали появляться первые активные области на широтах  $30^\circ \pm 10^\circ$ . Аналогичная последовательность фаз начала цикла обнаружена для 25-го цикла. Массовое появление высокоширотных активных областей 25-го цикла, в отличие от 24-го цикла, произошло позже всплеска числа узлов эфемерных активных областей на 2.5 года.

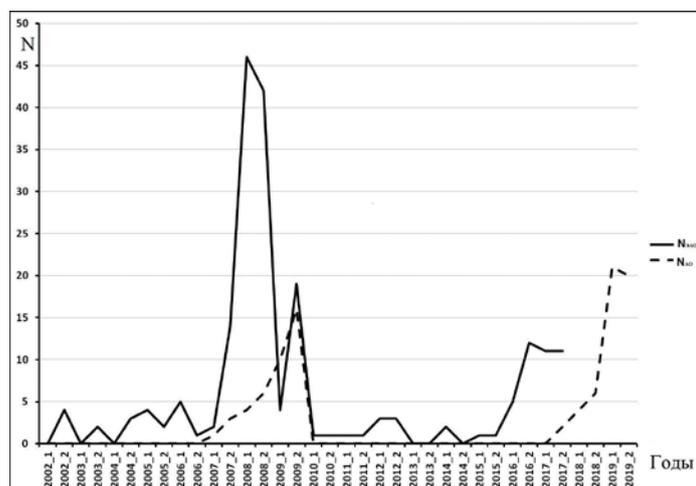


Рис. 2.1.3.1.1. Кривая числа узлов  $N_{\text{ЭАО}}$  в сопоставлении с кривой числа новых высокоширотных АО  $N_{\text{АО}}$  в 24-м и 25-м солнечных циклах

#### Публикация:

Головко А.А. Возможность диагностики начала солнечного цикла на основе его предвестников на средних гелиоширотах // Геомагнетизм и аэрономия. 2020. Т. 60, № 6. С. 695–703. DOI: 10.31857/S001679402006005X.

#### 2.1.3.2. Причина высокой скорости КВМ, вызванного эрупцией протуберанца вне активных областей

Проект «Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.В. Просовецкий. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.В. Гречнев (ИСЗФ СО РАН), И.В. Кузьменко (ИПА РАН).

Эрупция протуберанца вне активных областей 29 сентября 2013 г. привела к возникновению быстрого ( $1180 \text{ км/с}$ ) коронального выброса (КВМ), ударной волны и большого протонного возрастания, что нетипично для событий, не связанных со вспышками. Установлено, что причиной высокой скорости КВМ был значительный магнитный поток пересоединения при эрупции — около  $6 \cdot 10^{21} \text{ Мкс}$ , близкий типичному для вспышечных

геоэффективных событий. Как и во вспышечных событиях, поршневая ударная волна была импульсно возбуждена при эрупции протуберанца с ускорением до  $400 \text{ м/с}^2$  и перешла в режим головной волны позже. Расчет для такой эволюции ударной волны (рис. 2.1.3.2.1, желтые штрихи) воспроизводит ее след на изображениях (вверху) и траекторию всплеска II типа (внизу) во всем диапазоне частот от 30 МГц до 70 кГц, где он наблюдался.

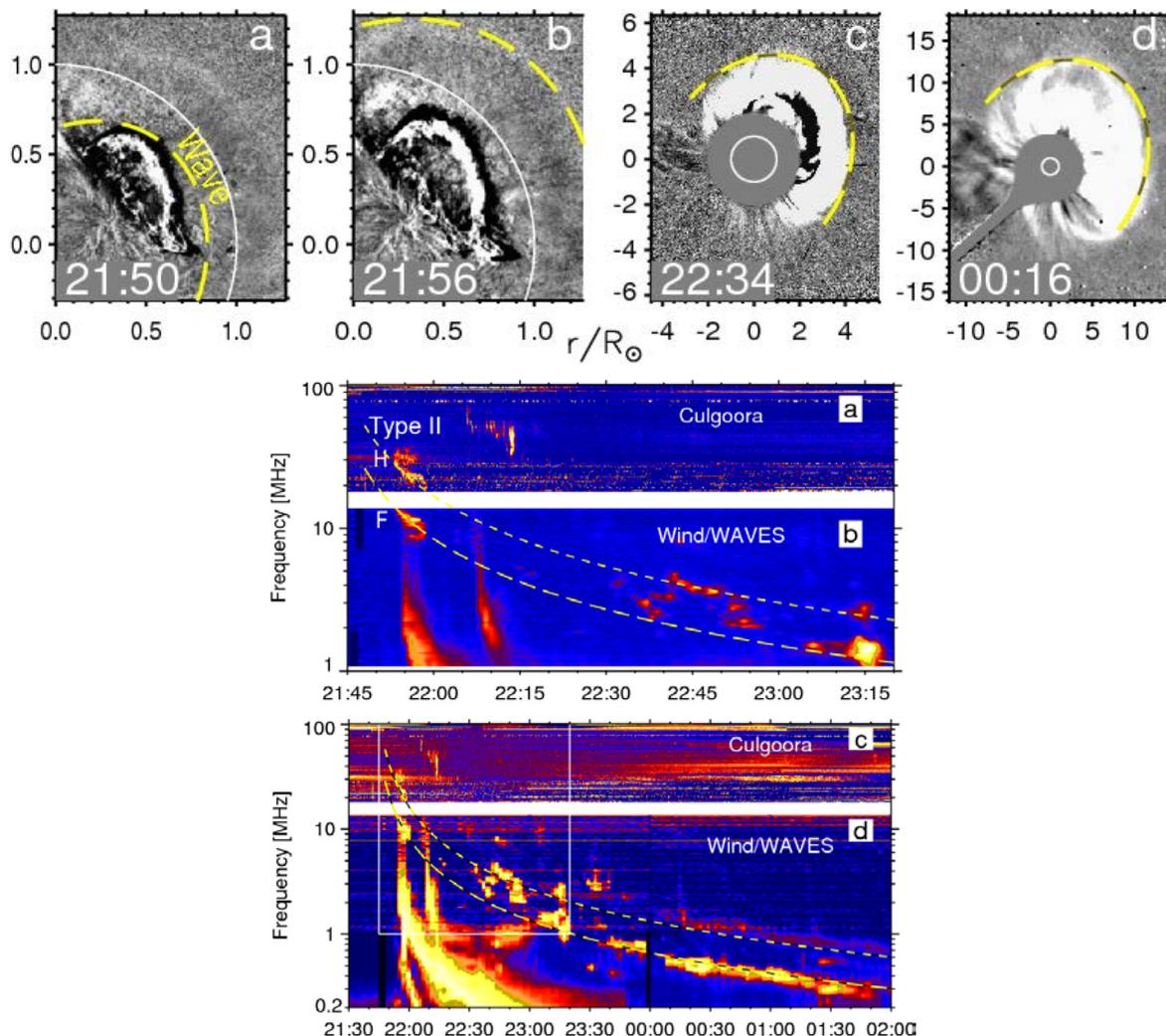


Рис. 2.1.3.2.1. Вверху: след волны на изображениях SDO/AIA 211 Å (a, b) и SOHO/LASCO (c, d). Внизу: расчетные траектории основного тона и гармоники всплеска II типа, наблюдавшегося наземным радиоспектрографом Кулгура и космическим радиоспектрографом WAVES на борту аппарата Wind

#### Публикация:

Grechnev V.V., Kuzmenko I.V. A geoeffective CME caused by the eruption of a quiescent prominence on 29 September 2013 // Solar Phys. 2020, Vol. 295, iss. 4, article id 55. DOI: 10.1007/s11207-020-01619-x.

#### 2.1.3.3. Парные трехленточные вспышки, наблюдавшиеся на Сибирском радиогелиографе

Проект РНФ № 18-12-00172 «Исследование выбросов солнечной плазмы и развитие физических основ оценки их параметров по многоволновым наблюдениям в радио- и оптическом диапазонах». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.В. Просовецкий. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.В. Гречнев, к.ф.-м.н. Н.С. Мешалкина, д.ф.-м.н. А.М. Уралов, к.ф.-м.н. А.А. Кочанов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой, к.ф.-м.н. И.И. Мышьяков, к.ф.-м.н. В.И. Киселёв, к.ф.-м.н. Д.А. Жданов, д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев, М.В. Глоба.

В одной активной области в течение получаса Сибирским радиогелиографом (СРГ) наблюдались два мощных события, бывших редкими эруптивными трехленточными вспышками. Их микроволновые спектры уплощены на низких частотах, а частота максимума спектра ниже у более мощного всплеска. Эти необычные свойства объясняются тем, что простые на вид нетепловые источники были протяженными аркадами, видимыми в крайнем ультрафиолете, что подтверждено моделированием спектров. Предложен сценарий, в котором первая эрупция в корональной конфигурации с нулевой точкой способствует последующей. Три всплещечные ленты отражают вызванное эрупцией волокна магнитное пересоединение в токовом слое, образовавшемся из нулевой точки (рис. 2.1.3.3.1).

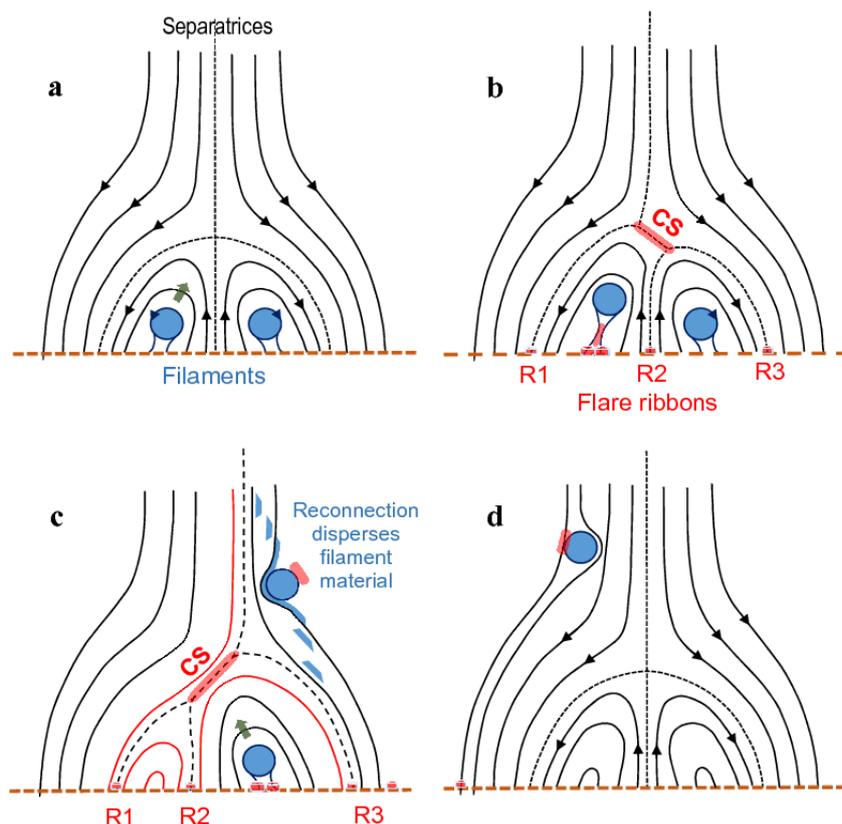


Рис. 2.1.3.3.1. Сценарий двух эруптивных вспышек в конфигурации с корональной нулевой точкой

#### Публикация:

Grechnev V.V., Meshalkina N.S., Uralov A.M., Kochanov A.A., Lesovoi S.V., Myshyakov I.I., Kiselev V.I., Zhdanov D.A., Altynsev A.T., Globa M.V. Twin null-point-associated major eruptive three-ribbon flares with unusual microwave spectra // *Solar Phys.* 2020. Vol. 295, iss. 9, article id 128. DOI: 10.1007/s11207-020-01702-3.

### 2.1.4. Развитие оптических и радиолокационных методов измерений для решения задач в области астероидно-кометной опасности и техногенного засорения космического пространства

#### 2.1.4.1. Наблюдения космического мусора в области орбит глобальных навигационных спутниковых систем

Проект «Развитие оптических и радиолокационных методов измерений для решения задач в области астероидно-кометной опасности и техногенного засорения космического пространства». Руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Автор результата — И.В. Коробцев.

Исследование распределения малоразмерного космического мусора в околоземном космическом пространстве имеет большое значение для обеспечения безопасности функционирующих космических аппаратов. В работе исследованы методические вопросы обнаружения и определения характеристик космического мусора в области орбит глобальных навигационных спутниковых систем с использованием оптических телескопов. Представлены результаты траекторных и фотометрических наблюдений малоразмерного космического объекта, обнаруженного в области орбит системы ГЛОНАСС. Астрометрические и фотометрические измерения проводились на 1.6-метровых телескопах АЗТ-33ИК и АЗТ-33ВМ Саянской солнечной обсерватории. Анализ кривой блеска и фазовой зависимости космического объекта дает возможность оценить его форму и размер. На рис. 2.1.4.1.1 показаны: слева — кривая блеска со сложной многопиковой структурой объекта космического мусора № 67403 с периодом 465.5 с, справа — фазовая зависимость блеска объекта, позволяющая оценить его линейный размер (40 см).

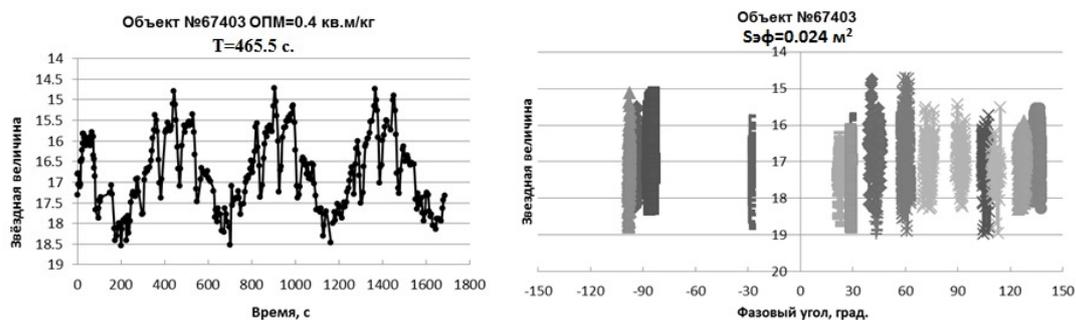


Рис. 2.1.4.1.1. Кривая блеска объекта космического мусора (слева), обнаруженного в окрестности орбит системы ГЛОНАСС, и фазовая зависимость блеска объекта (справа)

#### Публикация:

Korobtsev I.V., Tsukker T.G., Mishina M.N., Goryashin V.E., Eselevich M.V. Observations of space debris in the vicinity of orbits of global navigation satellite systems // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, iss. 3. P. 94–100. DOI: 10.12737/stp-63202014.

#### 2.1.4.2. Спектроскопические наблюдения первых кандидатов в далекие рентгеновские квазары ( $z \sim 4$ ) среди источников, открытых орбитальной обсерваторией SRG

Проект «Развитие оптических и радиолокационных методов измерений для решения задач в области астероидно-кометной опасности и техногенного засорения космического пространства», руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Автор результата — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич.

Получены результаты оптической спектроскопии первых кандидатов в далекие квазары среди рентгеновских источников, открытых телескопом eРОЗИТА орбитальной обсерватории SRG в ходе глубокого обзора области Дыры Локмана. Проведенные на 1.6-метровом телескопе АЗТ-33ИК Саянской солнечной обсерватории спектроскопические наблюдения (рис. 2.1.4.2.1) подтвердили, что эти объекты действительно являются далекими квазарами на красных смещениях 3.878 и 4.116 и характеризуются высокой рентгеновской светимостью  $\sim 10^{45}$  эрг/с (2–10 кэВ). Полученные значения красного смещения хорошо согласуются с результатами по фотометрическому измерению красных смещений рентгеновских источников системой SRGz, разработанной в ИКИ РАН.

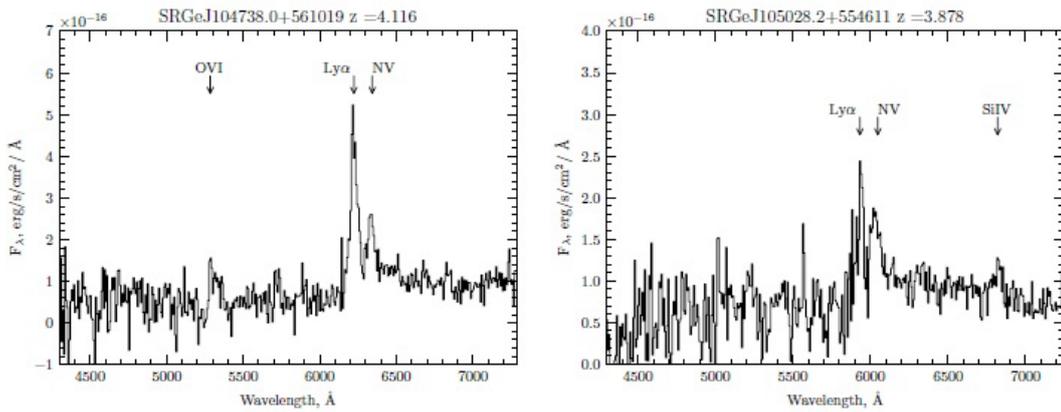


Рис. 2.1.4.2.1. Спектры квазаров SRGe J104738.0+561019 и SRGe J105028.2+554611, полученные на телескопе АЗТ-3ЗИК

**Публикация:**

Khorunzhev G.A., Meshcheryakov A.V., Burenin R.A., Lyapin A.R., Medvedev P.S., Sazonov S.Yu., Eselevich M.V., Sunyaev R.A., Gilfanov M.R. The first distant X-ray quasars ( $z \sim 4$ ) among the sources discovered by the eROSITA Telescope of the SRG Orbital Observatory during a Deep Lockman Hole Survey // *Astron. Lett.* 2020. Vol. 46, no. 3. P. 149–155. DOI: 10.1134/S1063773720030032.

**2.1.4.3. Спектроскопия и кинематика V1117 Her — высокоширотной звезды типа UX Ori**

Проект «Развитие оптических и радиолокационных методов измерений для решения задач в области астероидно-кометной опасности и техногенного засорения космического пространства». Руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Автор результата — к.ф.-м.н. И.С. Потравнов.

В работе исследованы спектры и кинематика высокоширотной звезды типа UX Ori V1117 Her по данным наблюдений на телескопе АЗТ-3ЗИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН и каталога GAIA DR2. Были выявлены спектральные признаки аккреционной активности звезды и получена оценка светимости  $\sim 26L_{\text{Solar}}$  (рис. 2.1.4.3.1). Эти результаты позволяют классифицировать V1117 Her как молодую Ae звезду Херbiga. Вместе с тем V1117 Her лежит вне плоскости молодого диска Галактики, на возвышении  $z=800$  пк. Анализ ее кинематики показал, что более вероятным является сценарий образования звезды *in situ* высоко над плоскостью Галактики, нежели ее динамический выброс из какой-либо низкоширотной ассоциации. Полученный результат важен для лучшего понимания форм и мест возможного звездообразования в Галактике.

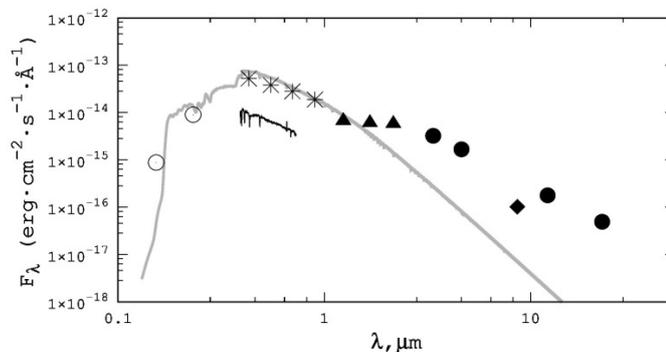


Рис. 2.1.4.3.1. Спектральное распределение энергии V1117 Her. Символами показаны данные архивной фотометрии; серой линией — модельный спектр  $T_{\text{eff}} = 7250$  K,  $\lg g = 4.0$ ; черная линия соответствует оптическому спектру, полученному на телескопе АЗТ-3ЗИК 03.04.2019 во время фотометрического минимума звезды

**Публикация:**

Потравнов И.С., Еселевич М.В. Спектроскопия и кинематика V1117 Her — высокоширотной звезды типа UX Ori // *Астрофизика*. 2020. Т. 63, вып. 4. С. 547–558. URL: <http://astro.asj-oa.am/4326/1/547.pdf>.

**2.1.5. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей****2.1.5.1. Форбуш-эффект и геомагнитная буря в апреле 1990 г.**

Проект «Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.В. Кравцова, д.ф.-м.н. С.В. Олемской, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

По данным наземных измерений космических лучей (КЛ) на мировой сети станций исследованы форбуш-эффект и геомагнитная буря в апреле 1990 г. Рассчитаны спектры вариаций, анизотропия космических лучей и изменения планетарной системы жесткостей геомагнитного обреза. Определены расстояние до подсолнечной точки, радиус кольцевого тока, а также вклад кольцевого тока в *Dst*-индекс во время исследуемых событий. Показана возможность по данным наземных измерений КЛ на мировой сети станций проводить количественную оценку радиуса и силу кольцевого тока, а также расстояния до подсолнечной точки и силы тока на магнитопаузе в периоды геомагнитных возмущений (табл. 2.1.5.1.1, 2.1.5.1.2).

Табл. 2.1.5.1.1. Вклад токов DR и DCF в развитии магнитной бури в апреле 1990 г. на разных стадиях эффекта

Дата	$Dst_{\text{набл}}$ , нТл	$Dst_{\text{расч}}$ , нТл	$Dst_{\text{DR}}$ , нТл	$Dst_{\text{DCF}}$ , нТл	$I_{\text{DR}}$ , $10^6$ А	$I_{\text{DCF}}$ , $10^6$ А
10.04.1990 07:00 UT	-65	-38	-171	133	14.9	4.9
10.04.1990 20:00 UT	-257	-254	-386	132	15.4	3.1
13.04.1990 23:00 UT	-93	-118	-236	118	13.5	3.1

Табл. 2.1.5.1.2. Средние значения радиусов кольцевого тока ( $r_c$ ) в единицах радиуса Земли и расстояния до подсолнечной точки ( $r_m$ ) в рамках осесимметричной модели ограниченной магнитосферы для разных фаз развития геомагнитной бури

10 апреля 1990 г.				13 апреля 1990 г.	
начальная фаза в 07:00 UT		главная фаза в 20:00 UT		фаза восстановления в 23:00 UT	
$r_c$	$r_m$	$r_c$	$r_m$	$r_c$	$r_m$
~4.8	~8.4	~3.8	~8.5	~4.2	~8.7

**Публикация:**

Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Форбуш-эффект и геомагнитная буря в апреле 1990 г. // *Изв. РАН. Сер. Физ.* (принята к печати).

### 2.1.5.2. Возмущенная магнитосфера 7–8 ноября 2004 г. и вариации жесткости обрезания космических лучей: широтные эффекты

Проект «Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей», руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — О.А. Данилова, Н.Г. Птицына, М.И. Тясто (Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН), к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов (ИСЗФ СО РАН).

Исследованы особенности широтного поведения жесткости обрезания космических лучей, а также их чувствительности к  $B_z$ - и  $B_y$ -компонентам межпланетного магнитного поля и индексам геомагнитной активности  $Dst$  и  $K_p$  во время различных фаз магнитной бури 7–8 ноября 2004 г. Жесткости обрезания рассчитаны двумя методами: 1) спектрографической глобальной съемки по наблюдательным данным регистрации КЛ мировой сети станций; 2) методом, в котором траектории частиц КЛ вычисляются численно в модельном магнитном поле магнитосферы. Найдено, что чувствительность наблюдаемых жесткостей обрезания к  $Dst$  меняется с широтой (пороговой жесткостью станций наблюдения) в антифазе с изменениями чувствительности к  $B_y$ . Во время восстановительной фазы бури корреляция  $Dst$  с  $B_y$  существенно больше, чем с  $B_z$ , а корреляция  $K_p$  с  $B_z$ , наоборот, больше, чем с  $B_y$ . Показано, что преимущественный вклад в развитие токовых систем, определяющих эволюцию  $Dst$  на восстановительной фазе бури, вносит  $B_y$ -компонента (рис. 2.1.5.2.1).

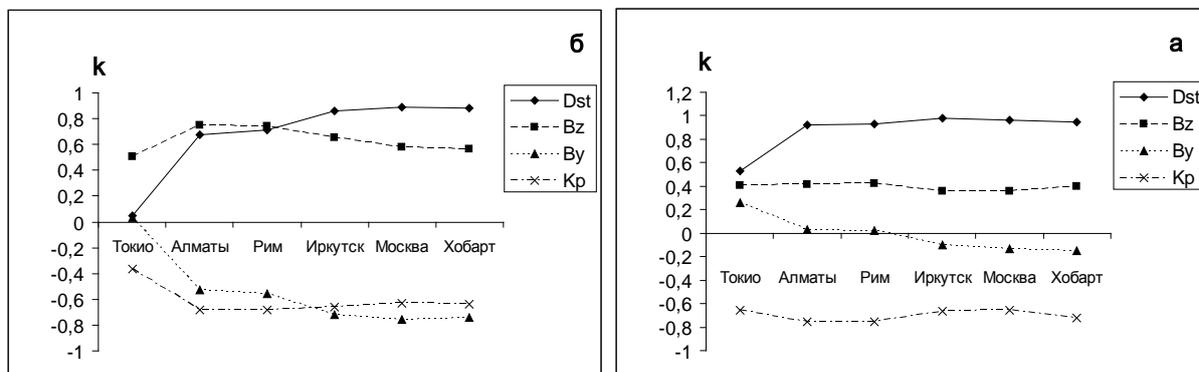


Рис. 2.1.5.2.1. Широтная зависимость коэффициентов корреляции  $k$  между  $\Delta R_{сгс}$  и параметрами ММП и геомагнитной активности для главной фазы (а) и для фазы восстановления бури (б). Станции идут в порядке возрастания широты

#### Публикация:

Птицына Н.Г., Данилова О.А., Тясто М.И., Сдобнов В.Е. Возмущенная магнитосфера 7–8 ноября 2004 г. и вариации жесткости обрезания космических лучей: широтные эффекты // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 3. С. 40–47. DOI 10.12737/szf63202005.

### 2.1.5.3. Изучение мощных вспышек на Солнце

Проект «Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — Е.С. Исаева (Иркутский государственный университет, ИСЗФ СО РАН), к.ф.-м.н. В.М. Томозов (ИСЗФ СО РАН), д.ф.-м.н. С.А. Язев (Иркутский государственный университет, ИСЗФ СО РАН).

Проанализирована статистическая связь комплексов активности (КА) на Солнце и солнечных вспышек с рентгеновскими классами GOES выше M1.0 (744 события) в течение 24-го цикла солнечной активности (до января 2019 г.). Все группы пятен разбиты на три класса: в ядрах КА, в ветвях КА, за пределами КА. Показано, что 78 % вспышек указанных классов происходят преимущественно в группах пятен, расположенных в ядрах и в ветвях КА. Удельное число вспышек в ядрах КА в 2.5 раза превышает соответствующий

параметр в ветвях КА и за пределами КА. С КА связаны 87 % LDE-вспышек указанных классов, 82 % всех сильных протонных вспышек, генерирующих потоки энергичных протонов на орбите Земли, а также 74 % всех гамма-вспышек в 24-м цикле.

Проведен анализ мощных вспышечных событий из каталога [Share G.H., Murphy R.G., White S.M., et al. Characteristics of late-phase  $>100$  MeV gamma-ray emission in solar eruptive events // *Astrophys. J.* 2018. Vol. 869, no. 2, 182. DOI: 10.3847/1538-4357/aaebf7] с длительной фазой гамма-излучения для объяснения особенностей импульсной и длительной фаз таких вспышек и для выяснения их связи с КА и корональными дырами. Показано, что 74 % таких событий оказались тесно связанными с КА. Качественно продемонстрирована связь процессов ускорения частиц в ходе развития вспышки с изменениями магнитной топологии вспышечной области и с эволюцией коронального выброса массы. Отмечена связь корональных дыр с КА и роль «обменного» пересоединения в этих процессах (рис. 2.1.5.3.1).

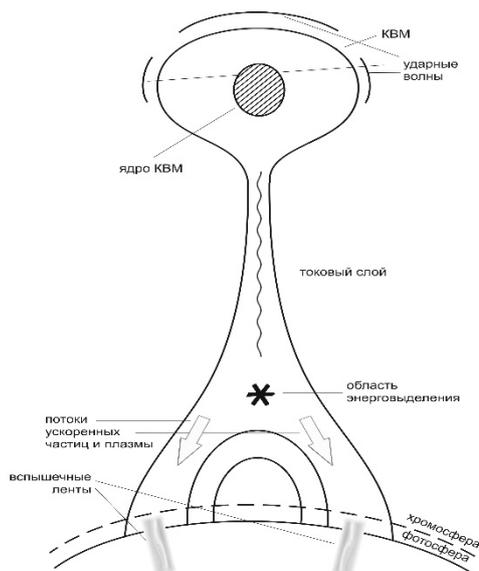


Рис. 2.1.5.3.1. Качественное представление магнитной структуры эруптивной вспышки с КВМ в рамках модели «прорыва»

#### Публикации:

Исаева Е.С., Томозов В.М., Язев С.А. Рентгеновские вспышки и комплексы активности на Солнце в 24-м цикле // *Астрономический журнал.* 2020. Т. 97, № 1. С. 64–72. DOI: 0.31857/S000462992001003X.

Томозов В.М., Язев С.А., Исаева Е.С. Гамма-вспышки и комплексы активности на Солнце // *Астрономический журнал.* 2020. Т. 97, № 8. С. 695–704. DOI: 10.31857/S0004629920090078.

#### 2.1.5.4. Рентгеновские вспышки и комплексы активности на Солнце

Проект «Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов, Авторы результата — Г.С. Минасянц, Т.М. Минасянц, (Астрофизический институт им. Фесенкова, Алматы, Казахстан), к.ф.-м.н. В.М. Томозов (Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск).

Проанализированы характеристики потоков фотонов различных энергий в ходе развития вспышек с длительным гамма-излучением. Используются данные наблюдений КА Fermi, SDO и GOES. Выполнено сравнение потоков фотонов с энергиями  $E_k = 12\text{--}25$  и  $50\text{--}100$  кэВ и  $>100$  МэВ для 19 вспышечных явлений. Показано, что наиболее эффективное ускорение происходит при практически одновременном развитии самого вспышечного

процесса и сопровождающего его КВМ, приводящего к появлению максимальных потоков высокоэнергичных потоков гамма-излучения (рис. 2.1.5.4.1).

При изучении магнитных структур групп солнечных пятен — источников трех вспышек с наиболее мощными потоками гамма-излучения с энергиями фотонов  $>100$  МэВ по данным наблюдений КА Fermi/LAT показано, что эти группы пятен отличались высокой динамикой развития, в ходе которого регистрировалось взаимопроникновением полей противоположных полярностей. В магнитной структуре активных областей выявлено существование протяженных нейтральных линий с участками очень высоких градиентов магнитных полей. Отмечено, что все эти характеристики типичны для комплексов активности, а наиболее эффективное ускорение протонов, являющихся косвенными источниками высокоэнергичного гамма-излучения, происходит в период совместного развития вспышки и сопровождающего ее КВМ, поскольку именно в это время регистрируются самые высокие значения гамма-потоков.

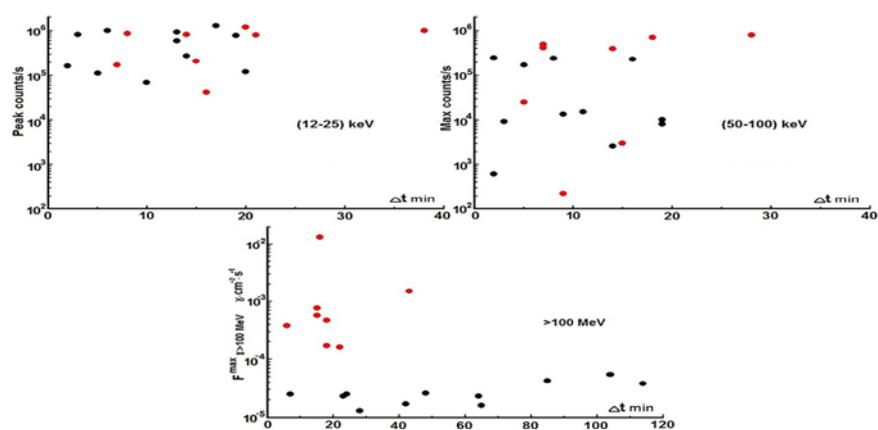


Рис. 2.1.5.4.1. Сравнение пиковых значений потоков фотонов с энергиями 12–25 кэВ, максимальных значений потоков фотонов с энергиями 50–100 кэВ и максимальных величин гамма-потоков с энергиями  $> 100$  МэВ с величиной временного интервала (в минутах) после начала вспышки

#### Публикации:

Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M. Comparison of characteristics of photon fluxes various energies in the development of solar gamma flares // News National Academy RK. Phys.-Math. Ser. 2020. Vol. 3, no. 331. P. 59–65. DOI: 10.32014/2020.2518-1726.37.

Minasyants G.S., Minasyants T.M. Tomozov V.M. Features of magnetic structure of sunspots groups at development of sustained fluxes high energy gamma ray // News National Academy RK. Phys.-Math. Ser. 2020. Vol. 3, no. 331. P. 66–72. DOI: DOI: 10.32014/2020.2518-1726.38.

Минасянц Г., Минасянц Т., Томозов В.М. Особенности развития высокоэнергичного гамма-излучения солнечных вспышек // *Астрономические исследования в Казахстане*. 2020. Т. 12. С. 333–339.

#### 2.1.5.5. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН

Проект «Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Автор результата — к.ф.-м.н. А.А. Луковникова.

На трех станциях космических лучей Саянского спектрографа, а также на станции «Норильск» проводятся измерения интенсивности КЛ.

Данные наблюдений КЛ и атмосферного давления с минутным и часовым интервалами накоплений 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, обновляются в международной базе данных nmdb.eu, а также передаются в Мировой центр данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ).

Для обеспечения в режиме реального времени стабильной работы станций КЛ проводились профилактические работы, произведена замена неисправного оборудования.

**Публикации:**

<http://cgm.iszf.irk.ru/>

<http://www.nmdb.eu>

<http://center.stelab.nagoya-u.ac.jp/WDCCR>

## 2.2. Исследования в области физики околоземного космического пространства

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

#### 2.2.1.1. Исследование вертикального дрейфа ионосферной плазмы во время геомагнитной бури св. Патрика

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный (ИСЗФ СО РАН), к.ф.-м.н. М.В. Клименко, к.ф.-м.н. В.В. Клименко (КФ ИЗМИРАН).

С использованием как измерений (высота максимума электронной концентрации по данным ЛЧМ-ионозонда вертикального зондирования и скорость ветра по данным интерферометра Фабри—Перо), так и расчетов по модели ГСМ ТИП проведено исследование вертикального дрейфа ионосферной плазмы во время геомагнитной бури св. Патрика. Сравнение модели и измерений показало, что ГСМ ТИП учитывает два основных фактора, влияющих на увеличение высоты максимума: усиление меридионального ветра в направлении экватора и появление сильной восточной компоненты электрического поля. На основе результатов моделирования для спокойных условий разработан метод оценки вклада меридионального ветра в изменение высоты максимума. Применение метода к измерениям во время геомагнитной бури позволило получить отдельную оценку вкладов меридионального ветра и зонального электрического поля в вариации высоты максимума (рис. 2.2.1.1.1).

Наибольшие вклады меридионального ветра (~70 км) и восточного электрического поля (~74 км) оказались близки друг к другу. Другим важным выводом является то, что для уточнения вкладов меридионального ветра и зонального электрического поля необходимо учитывать увеличение концентрации молекулярного азота в условиях геомагнитной бури.



Рис. 2.2.1.1.1. Вариации высоты максимума электронной концентрации (красная кривая) и и изменения высоты максимума, обусловленные вкладом меридионального ветра (черная кривая) на главной фазе геомагнитной бури Св. Патрика

### Публикация:

Ratovsky K.G., Klimenko M.V., Vasilyev R.V., Klimenko V.V., Podlesnyi A.V. Vertical plasma transport in the ionosphere over Irkutsk during St. Patrick's Day geomagnetic storm: observations and modeling // Adv. Space Res. 2020. Vol. 67, iss. 1. P. 122–132. DOI: 10.1016/j.asr.2020.10.021.

#### 2.2.1.2. Статистический анализ ионосферного отклика на геомагнитные бури с использованием данных глобальных ионосферных карт

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, А.М. Веснин (ИСЗФ СО РАН), к.ф.-м.н. М.В. Клименко, к.ф.-м.н. В.В. Клименко (КФ ИЗМИРАН).

При статистическом анализе ионосферного отклика на геомагнитные бури с использованием данных глобальных ионосферных карт получены следующие результаты. Идентичность откликов для среднеширотных зон Северного и Южного полушарий в терминах локальных сезонов указывает на то, что полученные статистические результаты являются следствием эффектов геомагнитных бурь, а не результатом влияния других факторов (процессов в нижней атмосфере и вариаций солнечной активности). Ионосферные отклики в экваториальной зоне и среднеширотных зонах Северного и Южного полушарий подтверждают основные выводы концепции термосферной бури, в рамках которой ионосферные возмущения являются следствием изменения термосферных параметров. Сезонная зависимость ионосферного отклика согласуется с концепцией влияния фоновой атмосферной циркуляции на эффекты термосферной бури. Наиболее отрицательный ионосферный отклик, наблюдаемый через один день после начала фазы восстановления, объясняется запаздыванием возрастания концентрации молекулярного азота относительно возрастания атомарного кислорода и изменения ветра. Наиболее отрицательные отклики в высокоширотных зонах обоих полушарий (по сравнению с другими широтными зонами) согласуются с концепцией термосферной бури. Положительные отклики в высокоширотных зонах противоречат концепции термосферной бури из-за отсутствия причин для положительных откликов в этих областях (рис. 2.2.1.2.1).

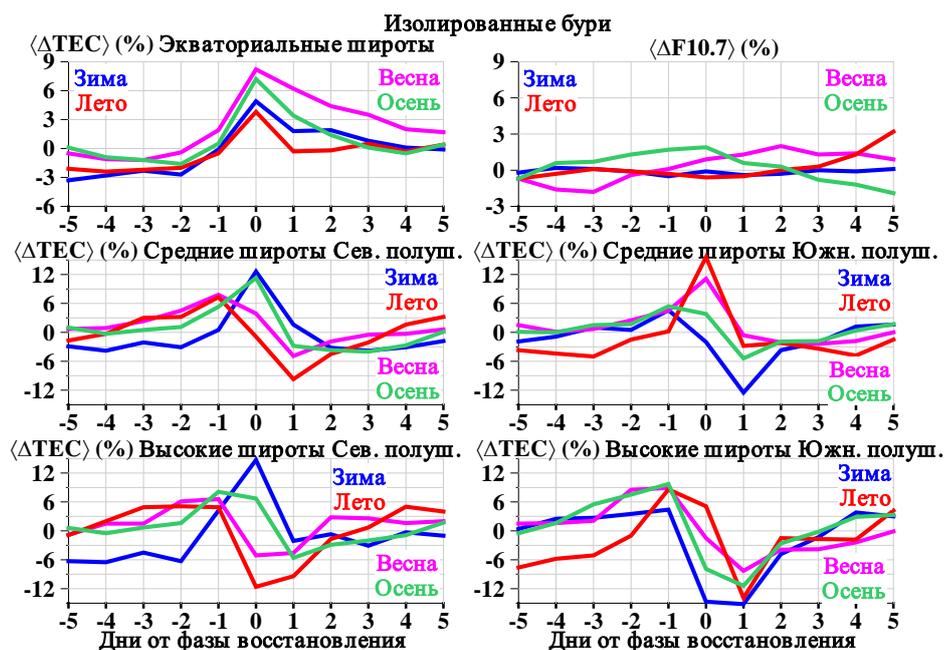


Рис. 2.2.1.2.1. Вариации  $\langle \Delta \text{TEC} \rangle$  для пяти широтных зон и вариации  $\langle \Delta F_{10.7} \rangle$  в течение пяти дней до и после начала фазы восстановления для случая изолированных бурь

### Публикация:

Ratovsky K.G., Klimenko M.V., Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M., Klimenko V.V. Statistical analysis of the ionospheric response to geomagnetic storms based on the data from global ionospheric maps // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2020. Vol. 14, no. 5. P. 862–872. DOI: 10.1134/S1990793120050243.

### 2.2.1.3. Алгоритмы прогноза уровня шума в диапазоне 8–20 МГц и их использование для морфологических исследований вариаций ионосферного поглощения на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Автор результата — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

Разработан метод использования эффекта поглощения шума в частотном диапазоне 8–20 МГц для определения периодов поглощения радиоволн в реальном времени. Метод основан на двух эмпирических авторегрессионных моделях вариаций шума. Первая (приблизительная) прогнозная модель основана на радарных измерениях суточных изменений минимального шума, усредненных за 28 дней, со специально рассчитанными весовыми коэффициентами. Вторая (точная) модель прогнозирования использует масштабирование приблизительной модели в реальном времени. Масштабирование основано на сравнении этой модели с экспериментальными наблюдениями шума в течение предыдущих пяти дней. В основу моделей положен весь набор наблюдений на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН (2013–2018 гг.). Приблизительная модель позволяет оценить границу, за которой вариации шума могут быть связаны с периодами поглощения. Совместный анализ одновременных данных на соседних направлениях зондирования и на нескольких частотах снижает ошибки такого детектирования и позволяет с большей степенью достоверности выявлять случаи поглощения шума. Использование точной модели позволяет оценить величину поглощения. Работоспособность метода подтверждается обнаруженной частотной зависимостью измеренного поглощения при двухчастотных измерениях. Полученная экспериментальная частотная зависимость имеет средний показатель степени около  $-1.5$ , что хорошо согласуется с литературными данными и данными, полученными ранее при анализе солнечных рентгеновских вспышек. Случаи поглощения шума низкой интенсивности ( $0 \dots 1.3$  дБ) в основном наблюдаются на северных направлениях зондирования. Для случаев сильного поглощения шума (более 1.3 дБ) средний уровень поглощения хорошо коррелирует со средним уровнем шума по всем доступным экспериментам и обычно наблюдается на каждом азимуте в поле зрения радара (рис. 2.2.1.3.1).

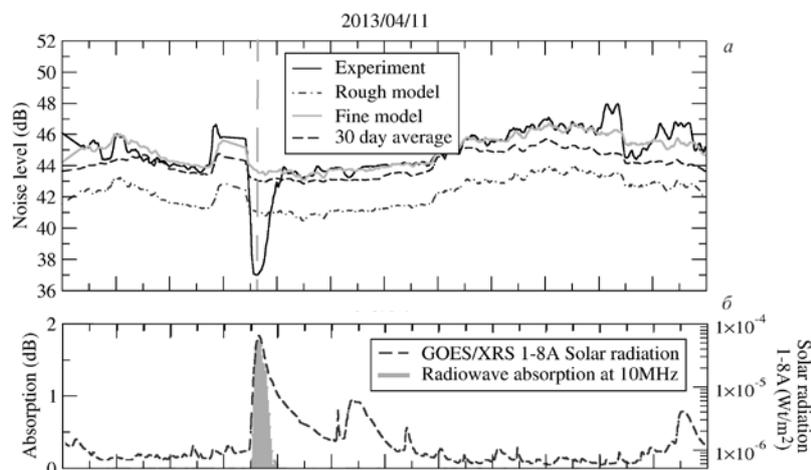


Рис. 2.2.1.3.1. Сравнение нескольких моделей прогноза уровня шума во время солнечной рентгеновской вспышки 04.11.2013 (а) и расчетный уровень поглощения, приведенный к вертикальному на частоте 10 МГц, по сравнению с интенсивностью рентгеновского излучения Солнца (б)

### Публикация:

Berngardt O.I. Noise level forecasts at 8–20 MHz and their use for morphological studies of ionospheric absorption variations at EKB ISTP SB RAS radar // Adv. Space Res. 2020. Vol. 66, no. 2. P. 278–291. DOI: 10.1016/j.asr.2020.04.005.

#### 2.2.1.4. Синтез симметричных зондирующих последовательностей для Екатеринбургского когерентного декаметрового радара

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт, к.ф.-м.н. К.В. Гркович, Р.Р. Федоров.

В рамках обобщения разработанной ранее 13-импульсной зондирующей последовательности радаров SuperDARN проведен синтез оптимальных зондирующих последовательностей, описываемых парной комбинацией взаимно-симметричных линеек Голомба с длительностью от 12 до 18 импульсов. Последовательности представляют собой пару идентичных взаимно-симметричных во времени подпоследовательностей, разнесенных по задержке, и не содержат дополнительного импульса, использованного ранее для измерения профиля мощности рассеянного сигнала. Поиск оптимальных подпоследовательностей проведен методом полного перебора в классе оптимальных и почти оптимальных линеек Голомба. Критерием оптимальности являлось обеспечение максимальной информативности полученного сигнала в смысле высокого спектрального разрешения при минимальном времени накопления, а также требование эффективности измерения профиля мощности рассеянного сигнала. Проведенный анализ продемонстрировал потенциальную эффективность одного из построенных сигналов (16-элементного) для проведения спектральных измерений на Екатеринбургском когерентном декаметровом радаре (рис. 2.2.1.4.1).

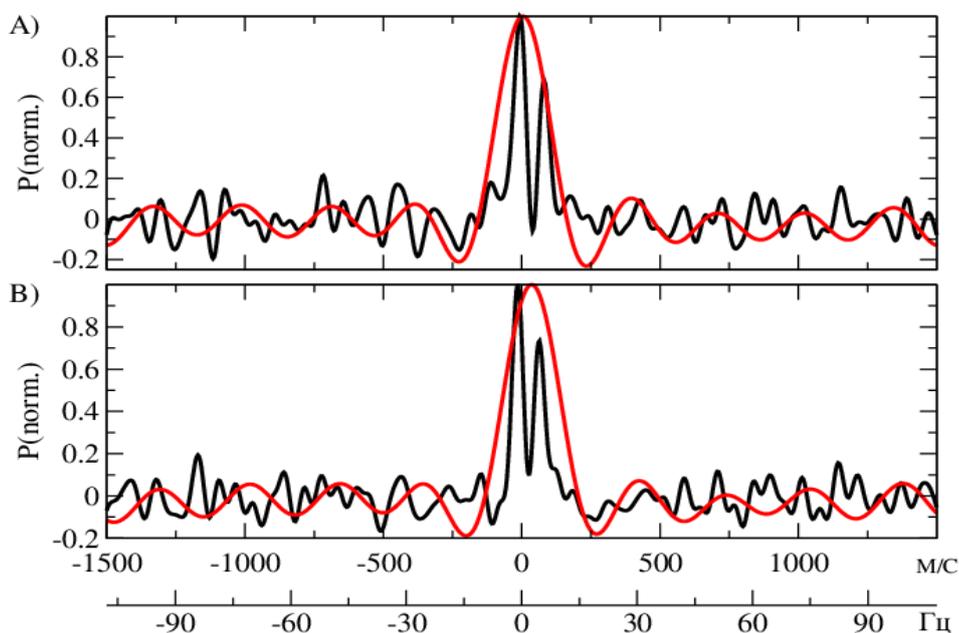


Рис. 2.2.1.4.1. Сравнение результатов использования новой 16-импульсной зондирующей последовательности (черная линия) и стандартной 7-импульсной зондирующей последовательности (красная) в задаче спектрального анализа многомодового сигнала на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН

### Публикация:

Berngardt O.I., Grkovich K.V., Fedorov R.R. Synthesis of symmetric sounding sequences for Ekaterinburg Coherent Decameter Radar // Radiophys. and Quant. Electron. 2020. Vol. 62, no. 11. P. 721–733. DOI: 10.1007/s11141-020-10018-y.

### 2.2.1.5. Сравнение индексов ионосферной возмущенности AATR и WTEC, построенных на основе полного электронного содержания

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт, к.ф.-м.н. С.В. Воейков, д.ф.-м.н. Н.П. Перевалова.

На основе измерений наклонного полного электронного содержания (ПЭС) проведено сравнение хорошо известного индекса *AATR* и относительно нового индекса *WTEC*, разработанного несколько лет назад. Сопоставлялась эффективность индексов *AATR* и *WTEC* для изучения мелкомасштабных и среднемасштабных ионосферных возмущений в разных геофизических условиях и в разных географических регионах. Анализ проводился в высоких, экваториальных и средних широтах в течение 2014–2017 гг. Показано, что вклад суточных вариаций фоновой ионосферы в *AATR* больше, чем в *WTEC*. Показано, что в высоких широтах динамика *WTEC* и *AATR* коррелирует с уровнем геомагнитной возмущенности (индекс  $K_p$ ). В средних широтах вклад вертикального ПЭС преобладает над другими эффектами. Предварительный статистический анализ 25 землетрясений с магнитудой  $> 6.8$  показал, что влияние внутренних атмосферных волн преобладает над действием ударных акустических волн от сейсмических волн. Анализ показал, что при низких уровнях возмущенности ( $WTEC < 0.1 \text{ TECU}$ ) индекс *WTEC* выглядит более чувствительным, чем *AATR*; при высоких уровнях возмущенности *AATR* почти пропорционален *WTEC* (рис. 2.2.1.5.1).

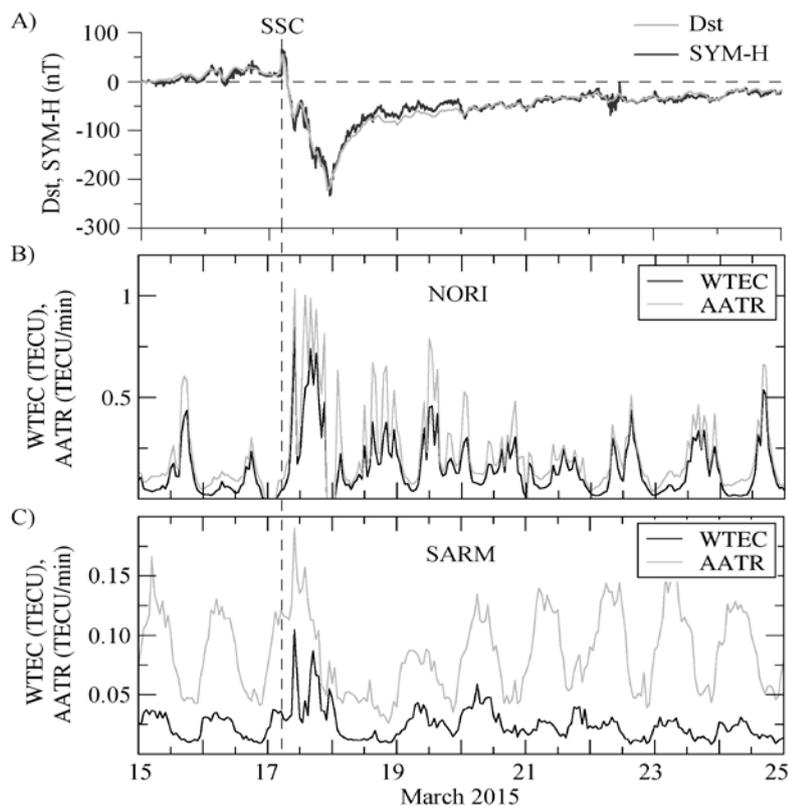


Рис. 2.2.1.5.1. Поведение индексов AATR и WTEC во время геомагнитной бури 17/03/2015: динамика Dst (A), сравнение индексов на высокоширотном приемнике GPS в Норильске (B), сравнение индексов на среднеширотном приемнике GPS в Сарме (прибайкальский регион) (C)

#### Публикация:

Berngardt O.I., Voeikov S.V., Perevalova N.P. Comparison of the TEC-based ionospheric disturbance indices *AATR* and *WTEC* // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 203, 105254. DOI: 10.1016/j.jastp.2020.105254.

### 2.2.1.6. Анализ развития декаметровых радаров

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт, д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. Д.С. Кушнарев, к.ф.-м.н. К.В. Гркович, Р.Р. Федоров, А.И. Орлов, В.В. Харченко.

В рамках проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук» планируется создание нескольких когерентных декаметровых радаров. В Институте солнечно-земной физики СО РАН работы по созданию когерентных декаметровых радаров проводились задолго до начала финансирования этого проекта. Это позволило получить опыт эксплуатации подобных радаров, выявить технологические проблемы, которые желательно решить при создании отечественных радаров, и разработать проект радаров, имеющих более широкие возможности по диагностике ионосферы по сравнению с существующими аналогичными радарными системами. Анализ работы радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН позволил выявить его технические недостатки и предложить структуру нового радара системы СЕКИРА. На основе макетирования элементов радара СЕКИРА продемонстрированы возможность его реализации и возможность использования радара в задачах исследования ионосферы на территории Российской Федерации, в том числе в высокоширотных областях (рис. 2.2.1.6.1).

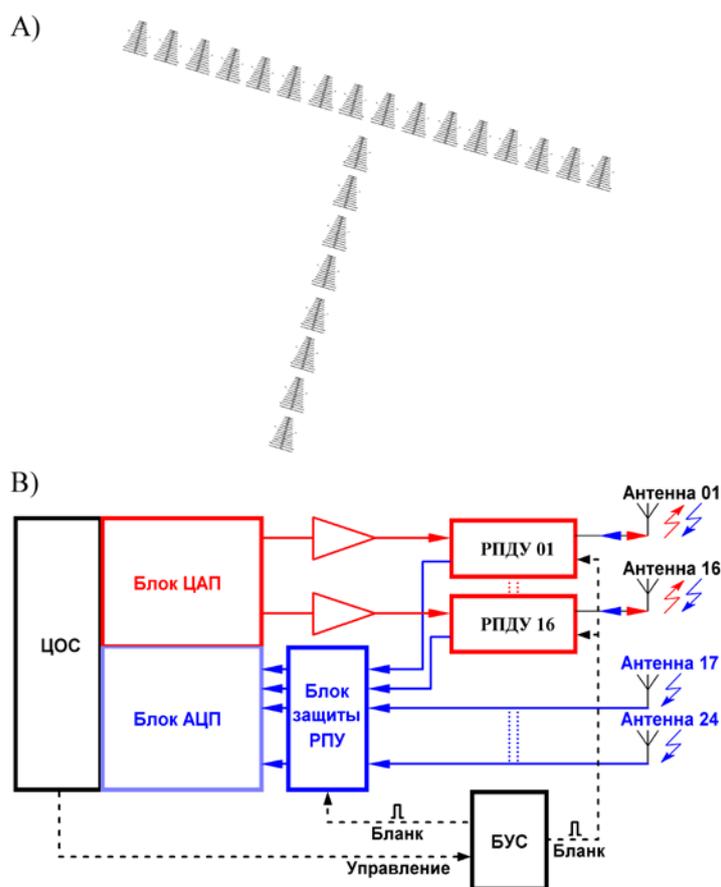


Рис. 2.2.1.6.1. Геометрия фазированной антенной решетки радаров СЕКИРА (А) и блок-схема радара (В)

#### Публикация:

Berngardt O.I., Kurkin V.I., Kushnarev D.S., Grkovich K.V., Fedorov R.R., Orlov A.I., Kharchenko V.V. ISTEP SB RAS decameter radars // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, iss. 2. P. 63–73. DOI: 10.12737/stp-62202006.

### 2.2.1.7. Развитие методов коррекции ионосферных моделей на основе данных глобальных навигационных спутниковых систем

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. А.А. Мыльникова (ИСЗФ СО РАН), к.ф.-м.н. Котова Д.С., к.ф.-м.н. Клименко М.В., к.ф.-м.н. Н.А. Коренькова, к.ф.-м.н. В.Б. Оводенко (КФ ИЗМИРАН), к.ф.-м.н. Е.С. Андреева, к.ф.-м.н. И.А. Нестеров, Ю.С. Туманова (МГУ), к.ф.-м.н. А.Е. Козловский (Sodankylä Geophysical Observatory).

В методику коррекции ионосферных моделей внедрена технология оценки абсолютного полного электронного содержания на наклонных лучах приемник — спутник глобальной навигационной спутниковой системы. Данные абсолютного полного электронного содержания использовались для коррекции моделей IRI-Plas и NeQuick. Использовалась коррекция по обобщенному параметру. Качество коррекции оценивалось на основе данных ионозондовых измерений DPS-4. Анализ ошибок оценки критической частоты над Иркутском для четырех сезонов выявил проблемы точности оценки критической частоты в отдельные сезоны, особенно в зимних условиях. При высокой точности долгосрочного прогноза оперативная коррекция на основе данных полного электронного содержания может ухудшать данные моделирования. Уменьшение ошибки при коррекции характерно для мартовских и июньских кампаний (рис. 2.2.1.7.1).

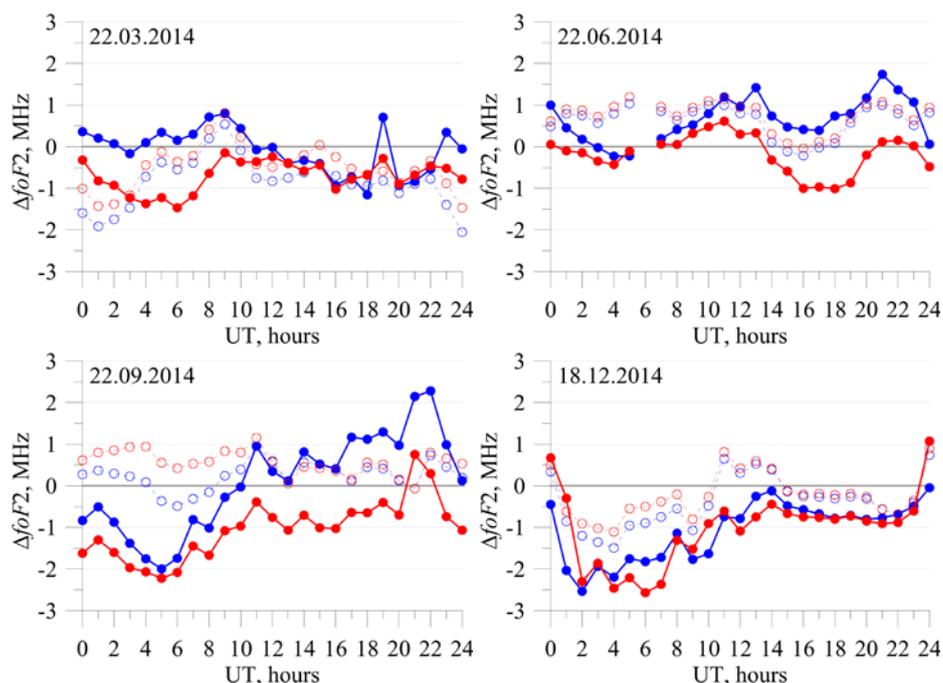


Рис. 2.2.1.7.1. Вариации отклонения критической частоты над Иркутском, получаемой по данным ГНСС, от измерений на ионозонде DPS-4. Данные приведены для 22 марта 2014 (левая верхняя панель), 22 июня 2014 (правая верхняя панель), 22 сентября 2014 (левая нижняя панель), 18 декабря 2014 г. (правая нижняя панель). Синие точки отмечают данные для NeQuick, красные — для IRI-Plas. Сплошные точки — при схеме с выделением азимутального сектора, окружности — без коррекции. Коррекция осуществлялась на основе индекса  $R_z$

#### Публикация:

Kotova D.S., Ovodenko V.B., Yasyukevich Yu.V., Klimenko M.V., Ratovsky K.G., Mylnikova A.A., Andreeva E.S., Kozlovsky A.E., Korenkova N.A., Nesterov I.A., Tumanova Yu.S. Efficiency of updating the ionospheric models using total electron content at mid- and subauroral latitudes // GPS Solutions. 2020. Vol. 24, no. 1, 25. DOI: 10.1007/s10291-019-0936-x.

### 2.2.1.8. Разработка современного нагревного стенда для исследования ионосферы средних широт

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, А.Г. Сетов, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, чл.-корр. А.В. Медведев (ИСЗФ СО РАН), д.ф.-м.н. В.Л. Фролов (НИРФИ).

В рамках Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук разрабатывается нагревный стенд ИКАР-АИ (Иркутская коротковолновая антенная решетка с активными излучателями). Инструмент даст возможность проводить контролируемые эксперименты по модификации ионосферы мощным коротковолновым излучением, позволив решать задачи физики верхней атмосферы Земли, магнитосферы, радиационных поясов и космической погоды. Проведено сравнение технических характеристик существующих стендов с новым нагревным стендом, обоснован выбор эффективной мощности излучения и рабочего частотного диапазона и представлен технический облик ИКАР-АИ. Отдельно рассмотрен выбор конфигурации антенной решетки с точки зрения оптимальной ширины луча, коэффициента усиления и величины боковых лепестков. Особое внимание уделено взаимному расположению ИКАР-АИ и многофункциональных диагностических инструментов, таких как современный радар некогерентного рассеяния, мезосферный и стратосферный лидар, а также современных наблюдательных оптических систем. Такое расположение обеспечит широкие возможности диагностики искусственных плазменных возмущений и искусственных образований оптического свечения верхней атмосферы (рис. 2.2.1.8.1).

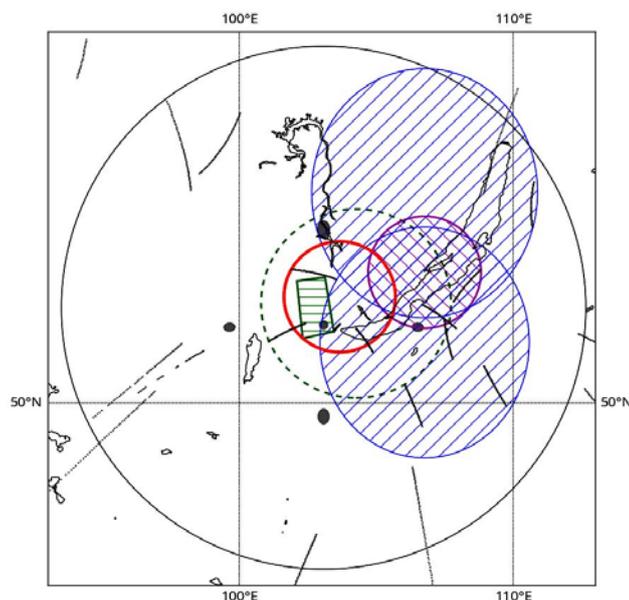


Рис. 2.2.1.8.1. Расположение инструментов НГК. Проекция полей зрения инструментов на высоте 250 км на поверхность Земли. Красная утолщенная окружность — нагревный стенд ИКАР-АИ; синие эллипсы с правой штриховкой — HR-MST-радар; фиолетовая окружность с левой штриховкой — MS-лидар; зеленая трапеция с горизонтальной штриховкой — существующий радар HR; зеленая штриховая окружность — существующий ионозонд DPS-4; черная окружность — камера всего неба; серые эллипсы — интерферометр Фабри—Перо, серые кривые — подионосферные точки линий ГНСС спутник — приемник

#### Публикация:

Vasilyev R.V., Setov A.G., Frolov V.L., Ratovsky K.G., Beletsky A.B., Oinats A.V., Yasyukevich Yu.V., Medvedev A.V. Modern heating facility for research into the mid-latitude ionosphere // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, iss. 2. P. 49–62. DOI: 10.12737/stp-62202005.

### 2.2.1.9. Разработка всеатмосферного радара НР-МСТ

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — чл.-корр. А.В. Медведев, А.Г. Сетов, к.ф.-м.н. Д.С. Кушнарев, к.ф.-м.н. В.П. Лебедев.

Радар НР-МСТ входит в состав Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук (НГК РАН). Радар будет решать широкий круг научных задач солнечно-земной физики, включающий исследования всех слоев атмосферы и взаимодействий между ними, регулярные спутниковые наблюдения, радиоастрономические наблюдения, а также совместные наблюдения с другими инструментами комплекса НГК. Приведено обоснование выбора частотного диапазона радара, оптимального с точки зрения как МСТ-измерений, так и измерений в режиме некогерентного рассеяния. Рассмотрены основные режимы работы: МСТ-режим для исследования системы мезосфера–стратосфера–тропосфера, режимы НР-1 и НР-2 для изучения ионосферы на высотах 100–500 и 500–1000 км соответственно, режим спутниковых наблюдений, режим совместных наблюдений и радиоастрономический режим. Проведенная оценка потенциала НР-МСТ в данных режимах работы показала, что радар позволит получать параметры ионосферы на высотах до 1500 км, параметры тропосферы и стратосферы на высотах до 25 км, параметры мезосферы на высотах ~86 км во время появления мезосферного эха. Кроме того, оценены разрешение по углу и чувствительность приемного тракта (рис. 2.2.1.9.1).

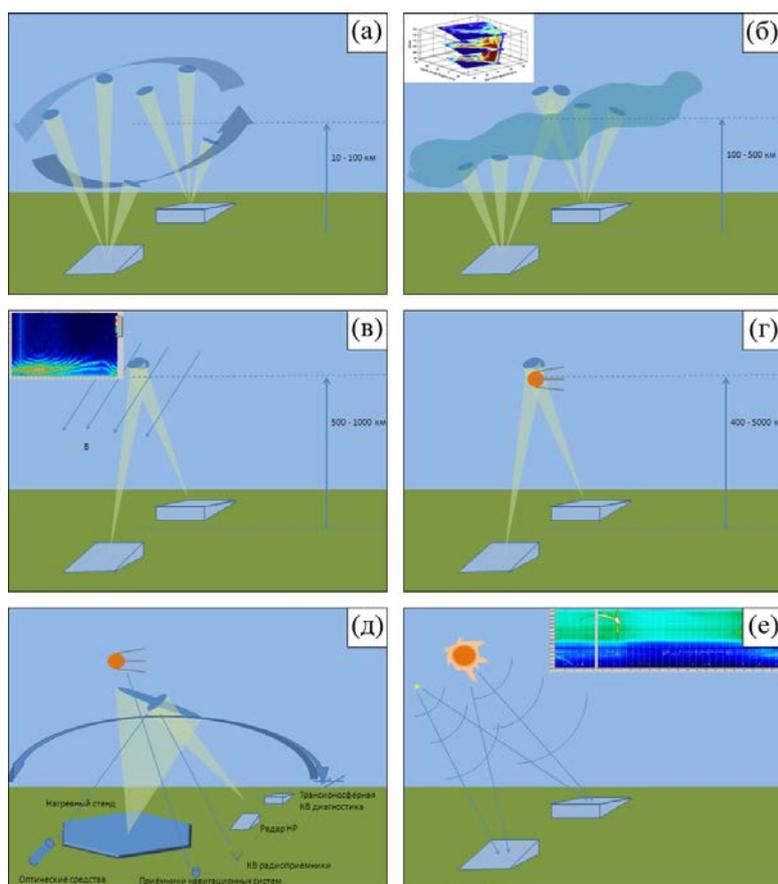


Рис. 2.2.1.9.1. Режимы работы НР-МСТ: МСТ-режим (а); режим НР-1 (б); режим НР-2 (в), режим наблюдения за КО (г); режим совместных наблюдений (д), радиоастрономический режим (е)

#### Публикация:

Medvedev A.V., Potekhin A.P., Setov A.G., Kushnarev D.S., Lebedev V.P. All-atmosphere IS-MST radar // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, iss. 2. P. 41–48. DOI: 10.12737/stp-62202004.

### 2.2.1.10. Разработка нового метода восстановления профиля электронной концентрации по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — С.С. Алсаткин, чл.-корр. А.В. Медведев, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

Разработан новый метод восстановления профиля электронной концентрации по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния. Метод учитывает эффект Фарадея, представляющий собой вращение плоскости поляризации волны, приводящее к замираниям сигнала на входе линейно поляризованной антенны радара. Концепция метода заключается в фитировании высотного профиля электронной концентрации параметрической моделью, представляющей комбинацию двух слоев Чепмена. Данный подход позволил реализовать полностью автоматический режим обработки данных и повысить устойчивость восстановления профиля электронной концентрации, включая случаи низкого отношения сигнал/шум в периоды низкой солнечной активности. Метод был апробирован на длинных рядах наблюдений, полученных на Иркутском радаре некогерентного рассеяния в 2007–2015 гг. Автоматический режим обработки данных позволяет использовать метод в широком наборе исследований на основе данных Иркутского радара некогерентного рассеяния (рис. 2.2.1.10.1).

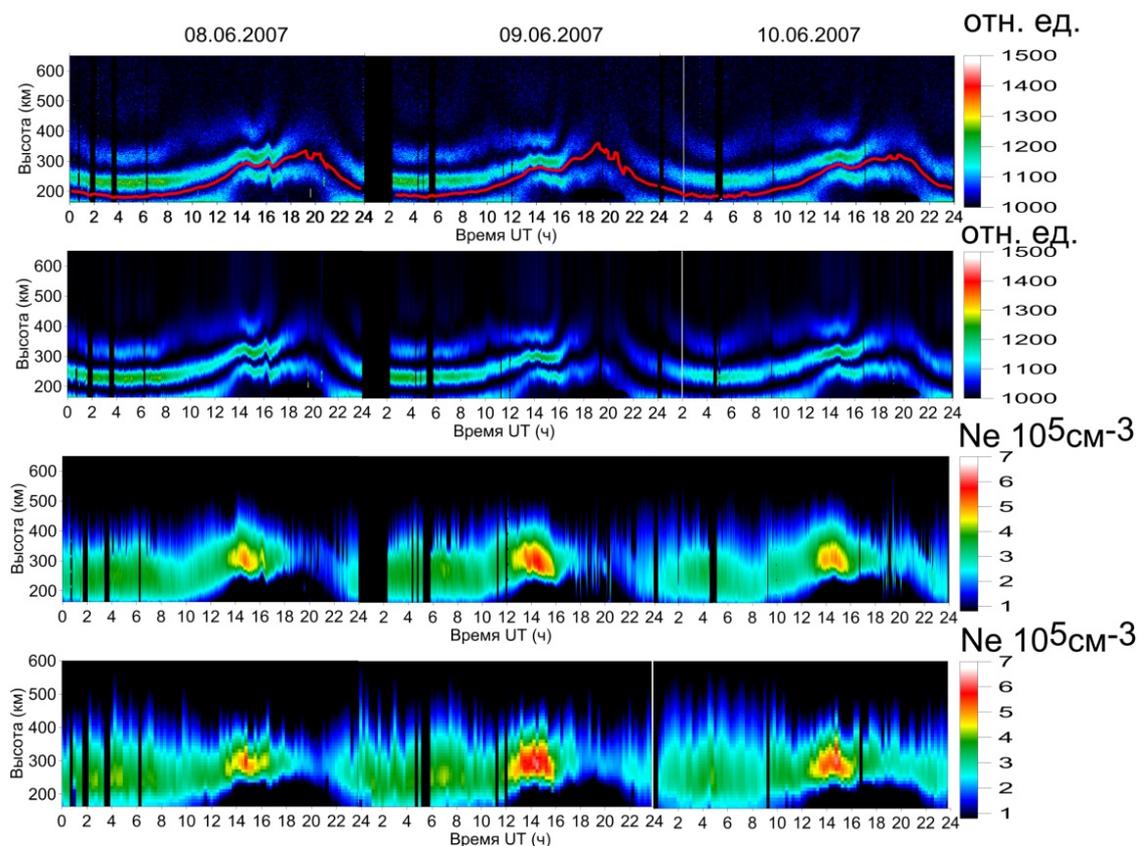


Рис. 2.2.1.10.1. Верхняя панель — мощность рассеянного сигнала; вторая и третья панели — восстановленные мощности сигнала и электронной концентрации; нижняя панель — электронная концентрация по данным ионозонда

#### Публикация:

Alsatkin S.S., Medvedev A.V., Ratovsky K.G. Features of  $N_e$  recovery at the Irkutsk Incoherent Scatter Radar // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, iss. 1. P. 77–88. DOI: 10.12737/stp-61202009.

### 2.2.1.11. Разработка метода оценки азимута нейтрального ветра по распределениям азимутов внутренних гравитационных волн

Проект «Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.В. Толстиков, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, к.ф.-м.н. И.В. Медведева (ИСЗФ СО РАН), N. Nishitani (Nagoya University).

Впервые предложен метод оценки азимута нейтрального ветра по распределениям азимутов внутренних гравитационных волн на основе гипотезы о ветровой фильтрации направлений распространения внутренних гравитационных волн. Метод протестирован на основе характеристик внутренних гравитационных волн, полученных на коротковолновом когерентном радаре Хоккайдо. В целом оценки азимута нейтрального ветра удовлетворительно согласуются с данными модели HWM 2007, при этом обнаружены направления ветров, которые не предсказываются моделью. Метод универсален и позволяет по статистике наблюдений двумерного вектора фазовой скорости внутренних гравитационных волн, полученной любым инструментом, оценивать азимут нейтрального ветра. В дальнейшем возможно применение метода к картам полного электронного содержания, что позволит осуществить оценку азимута нейтрального ветра в глобальном масштабе (рис. 2.2.1.11.1).

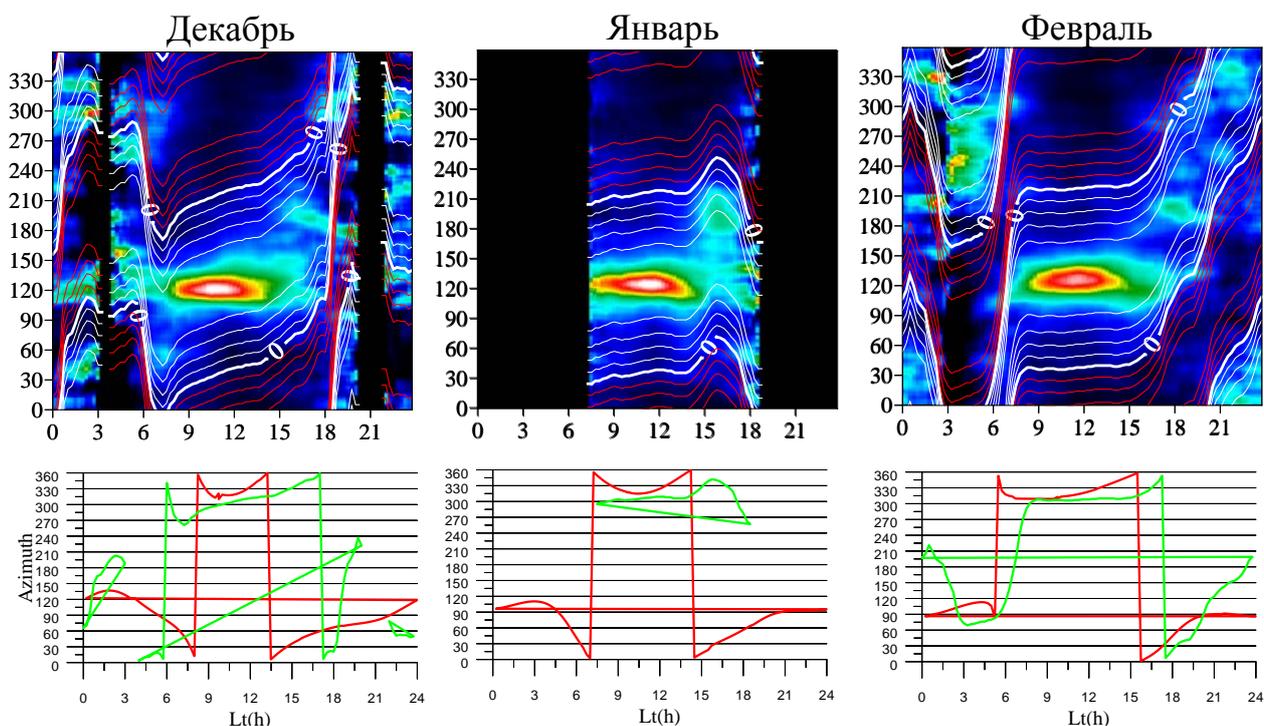


Рис. 2.2.1.11.1. Верхний ряд: распределение перемещающихся ионосферных возмущений (цветом показана относительная частота — отношение числа возмущений, наблюдавшихся в данное время и распространяющихся в данном направлении, к общему числу возмущений, наблюдавшихся в данное время) и распределения проекций нейтрального ветра (изолинии). Нижний ряд: азимут нейтрального ветра по модели HWM 2007 (красная линия), расчетный азимут нейтрального ветра (зеленая линия)

#### Публикация:

Tolstikov M.V., Oinats A.V., Medvedeva I.V., Nishitani N. Method for estimating neutral wind azimuth using 2D TID propagation parameters // XXXIIIrd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science. 2020. P. 1–4. DOI: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232189.

### 2.2.1.12. Результаты длительных наблюдений солнечного потока на Иркутском радаре некогерентного рассеяния

Проект по гранту РФФ № 18-17-00042 «Волновые процессы в атмосфере Земли и их влияние на ионосферу». Руководитель — академик Г.А. Жеребцов. Авторы результата — А.Г. Сетов, к.ф.-м.н. Д.С. Кушнарев, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, чл.-корр. РАН А.В. Медведев.

Проведены измерения среднесуточного солнечного потока на Иркутском радаре некогерентного рассеяния в период с 2011 по 2019 г. Солнце проходит через основной лепесток диаграммы направленности ИРНР с начала мая по середину августа. За годы пассивных наблюдений метод обработки первичных данных менялся несколько раз, поэтому в ходе работы был усовершенствован метод определения солнечного потока. В методе используется предположение о форме распределения яркости по диску Солнца, поэтому было проведено моделирование ошибки определения потока, возникающей во время радиовсплесков. Измерения на Иркутском радаре некогерентного рассеяния и в обсерватории Learmonth хорошо согласуются между собой, причем солнечный поток на частоте 161 МГц ниже, чем на частоте 245 МГц. С другой стороны, динамика изменений потока  $F10.7$  отличается от потока в метровом диапазоне. Распределение измерений потока на Иркутском радаре некогерентного рассеяния в период с 2011 по 2019 г. показало, что значения среднесуточного потока в основном лежат в диапазоне 5–10 sfu (рис. 2.2.1.12.1).

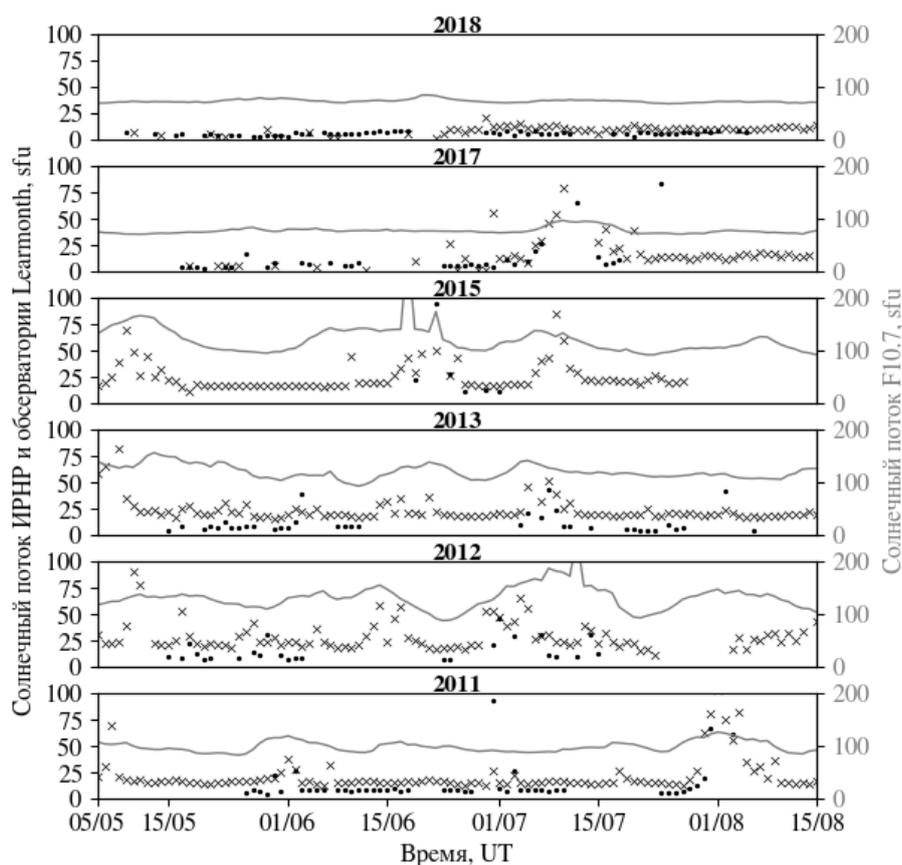


Рис. 2.2.1.12.1. Среднесуточный солнечный поток в ед. sfu, измеренный на ИРНР в 2011–2018 гг. Черные точки — поток на частотах ~161 МГц, полученный на ИРНР; крестики — поток на частоте 245 МГц, полученный в обсерватории Learmonth; сплошная линия — индекс  $F10.7$  (поток на частоте ~2.8 ГГц). Левая шкала — значение потока в ед. sfu для данных ИРНР и Learmonth, правая — для индекса  $F10.7$

#### Публикация:

Setov A.G., Kushnarev D.S., Vasilyev R.V., Medvedev A.V. Long-term solar flux observations with Irkutsk Incoherent Scatter Radar (ISR) in 2011–2019 // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, iss. 3. P. 29–33. DOI: 10.12737/stp-63202004.

## 2.2.2. Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли

### 2.2.2.1. Инверсия ионограмм возвратно-наклонного зондирования в параметры квазипараболического ионосферного слоя

Проект «Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли», руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук, М.С. Пензин.

Разработана схема инверсии переднего фронта сигнала возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ) в параметры квазипараболического профиля электронной концентрации на основе сравнения экспериментальных и вычисленных минимальных задержек рассеянных сигналов и соответствующих дальностей до границы освещенной зоны. Входными параметрами являются частотные зависимости минимального группового пути распространения рассеянных сигналов, полученные в результате обработки и интерпретации ионограмм ВНЗ. Схема инверсии ионограмм ВНЗ реализована для сферически симметричного волновода Земля — ионосфера с профилем электронной концентрации, аппроксимированным двумя квазипараболами с заданными отношениями высот начала слоя и точки сшивки квазипарабол к высоте максимума F2-слоя. Для определения двух неизвестных параметров профиля — критической частоты и высоты максимума слоя F2 — варьируется, помимо минимального группового пути, дальность до границы освещенной зоны, что позволяет определить единственное решение. Для фиксированной частоты зондирования пара параметров ионосферы — критическая частота и высота максимума слоя F2 — определяется как точка пересечения двух кривых, являющихся решениями задачи минимизации функционалов невязки для минимального группового пути и дальности до границы освещенной зоны. Определение параметров ионосферы по данной схеме инверсии на сетке частот зондирования позволяет построить двумерное распределение электронной концентрации в направлении возвратно-наклонного зондирования (рис. 2.2.2.1.1). Точность определения параметров ионосферного слоя в рамках предлагаемой схемы инверсии ионограмм ВНЗ напрямую зависит от результата выделения переднего фронта сигнала ВНЗ, по которому восстанавливается частотная зависимость дальности до границы освещенной зоны. Разработанная схема инверсии ионограмм ВНЗ используется для оперативного расчета параметров ионосферы по текущим данным ВНЗ на базе пространственно-распределенного ЛЧМ-иозонда, разработанного в ИСЗФ СО РАН.

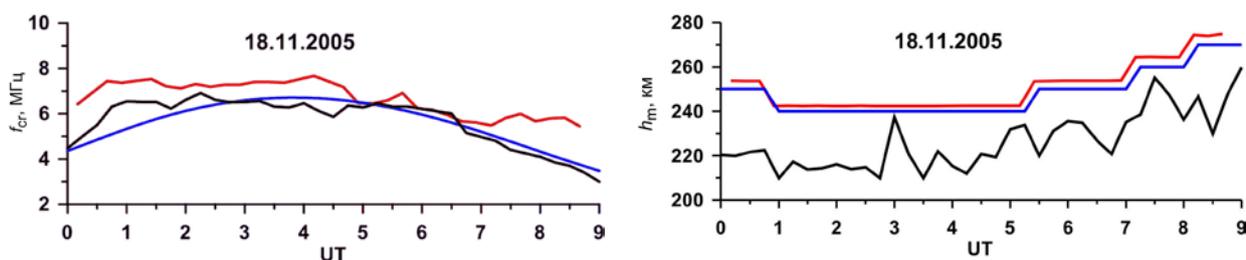


Рис. 2.2.2.1.1. Временные вариации критической частоты  $f_{cr}$  и высоты максимума  $h_m$  слоя F2 на удалении 1500 км от пункта излучения ( $52.88^\circ$  N,  $103.26^\circ$  E): красная линия — результаты инверсии ионограмм ВНЗ, синяя — результаты расчета по модели IRI, черная — экспериментальные значения параметров, полученные из ионограмм ВЗ на ионосферной станции Якутск ( $62^\circ$  N,  $129.7^\circ$  E)

#### Публикация:

Ponomarchuk S.N., Penzin M.S. Inversion of backscatter ionograms into quasi-parabolic ionospheric layer parameters // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, iss. 3. P. 67–71. DOI: 10.12737/stp-63202009.

### 2.2.2.2. Корректировка параметров ионосферы по данным вертикального и обратно-наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом

Проект «Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук, к.ф.-м.н. В.П. Грозов, к.ф.-м.н. Г.В. Котович, д.ф.-м.н. В.И. Куркин, А.А. Науменко, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный.

Созданный в ИСЗФ СО РАН пространственно-распределенный многофункциональный ЛЧМ-ионозонд имеет возможность параллельной работы в режиме вертикального (ВЗ), наклонного (НЗ) и обратно-наклонного зондирования ионосферы (ВНЗ). Результаты зондирования — ионограммы — являются входными данными для информационной системы мониторинга ионосферы и оперативного прогнозирования характеристик радиоканала. Разработаны методы оперативного расчета параметров ионосферы в пределах дальности одного скачка по данным вертикального и обратно-наклонного зондирования и реализован программный комплекс, включающий модули автоматической обработки, интерпретации ионограмм ЛЧМ-зондирования, определения и корректировки параметров ионосферы. Входными данными комплекса являются прогнозные параметры ионосферы и результаты обработки и интерпретации ионограмм ВЗ и ВНЗ: высотно-частотная характеристика (ВЧХ) ВЗ и передний фронт сигнала ВНЗ. Выделение переднего фронта сигнала ВНЗ на ионограммах позволяет проводить оперативное прогнозирование максимальных применимых частот и корректировать траекторные характеристики наклонного распространения для заданных радиотрасс в секторе зондирования. На радиотрассах протяженностью до ~3000 км в качестве метода расчета дистанционно-частотных характеристик (ДЧХ) сигналов НЗ и максимальных применимых частот используются алгоритмы, базирующиеся на модифицированном методе кривых передачи с учетом кривизны ионосферы. В рамках данного метода реализован алгоритм пересчета ДЧХ НЗ в ВЧХ ВЗ в средней точке трассы, что позволяет определить параметры ионосферы в секторе зондирования. На основе экстраполяции отношения реальных и прогнозных значений критических частот ионосферного слоя с учетом геометрических параметров слоя проводится корректировка параметров ионосферы в заданных точках на сфере (рис. 2.2.2.2.1).

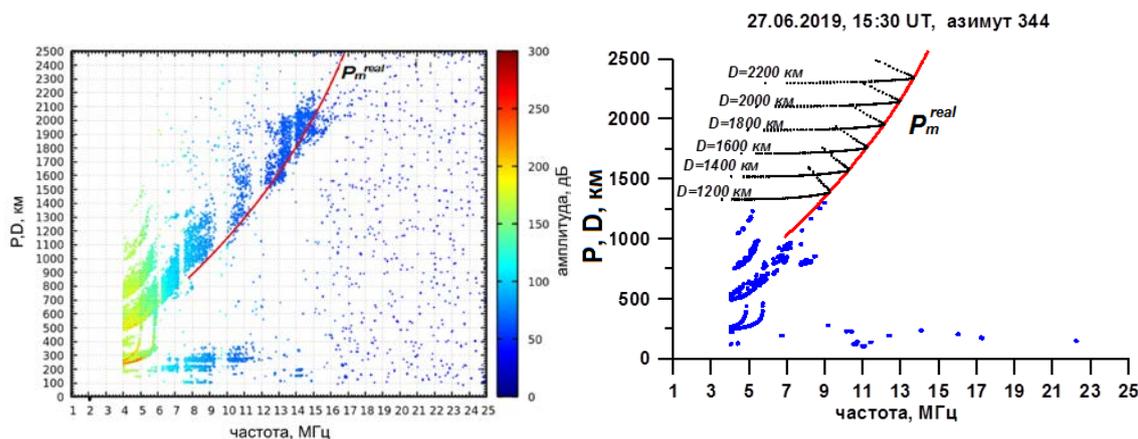


Рис. 2.2.2.2.1. Слева — ионограмма ВНЗ 27.06.2019, 15:30 UT: красная линия — передний фронт сигнала ВНЗ; справа — результаты обработки и интерпретации ионограммы ВНЗ и расчетные ДЧХ НЗ на сетке дальностей, 27.06.2019, 15:30 UT

#### Публикация:

Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kotovich G.V., Kurkin V.I., Naumenko A.A., Oinats A.V., Podlesnyi A.V. The correction of ionosphere parameters on the base of vertical and backscatter sounding data by continuous chirp signal// Proceedings SPIE: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2020. Vol. 11560, 1156082. DOI: 10.1117/12.2575052.

### 2.2.2.3. Исследование формы сигнала возвратно-наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом

Проект «Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук, д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац.

Экспериментальные исследования возвратно-наклонного зондирования ионосферы на базе ЛЧМ-ионозонда, разработанного в ИСЗФ СО РАН, выявили потенциальные возможности таких систем для диагностики условий распространения радиоволн. Для анализа и интерпретации экспериментальных данных был разработан комплексный алгоритм расчета характеристик сигналов ВНЗ в рамках волноводного подхода. Входными параметрами алгоритма являются профили электронной концентрации и эффективной частоты соударений, рассчитываемые по модели ионосферы, электрические параметры и коэффициенты рассеяния земной поверхностью. На основе комплексного алгоритма рассчитываются амплитудные характеристики сигналов ВНЗ, включая временную развертку сигнала, с использованием угловых коэффициентов рассеяния радиоволн от шероховатой поверхности. Моделирование проводится для заданных приемо-передающих антенно-фидерных устройств. Реализованы оперативные алгоритмы расчета переднего фронта сигнала ВНЗ и границы освещенной зоны. Результаты моделирования характеристик сигналов используются для анализа и интерпретации ионограмм ВНЗ, полученных на базе ЛЧМ-ионозонда ИСЗФ СО РАН. На рис. 2.2.2.3.1 (слева) приведена ионограмма ВНЗ, полученная 22 января 2007 г. в 02:16 UT. Пункт излучения — Усолье-Сибирское (52.8° N, 103.3° E), пункт приема — п. Торы, Республика Бурятия (51.8° N, 103° E). На рис. 2.2.2.3.1 (справа) приведены результаты моделирования амплитудного рельефа сигнала ВНЗ в этот же период времени. Моделирование проводилось с использованием модели IRI. Видно, что основной вклад в формирование сигнала ВНЗ вносят области рассеяния вблизи границы освещенной зоны. При этом наблюдается смещение максимума в амплитудном рельефе от передней границы сигнала. В силу большего ослабления двускачковые сигналы на экспериментальных ионограммах выражены менее явно. Односкачковые сигналы на ионограммах присутствуют во всем диапазоне частот прохождения рассеянного сигнала и могут быть уверенно выделены при автоматической обработке и интерпретации ионограмм по переднему фронту сигнала ВНЗ. Результаты выделения переднего фронта сигнала ВНЗ для мода 1F2 в автоматическом режиме нанесены на ионограмме черной линией (рис. 2.2.2.3.1 слева).

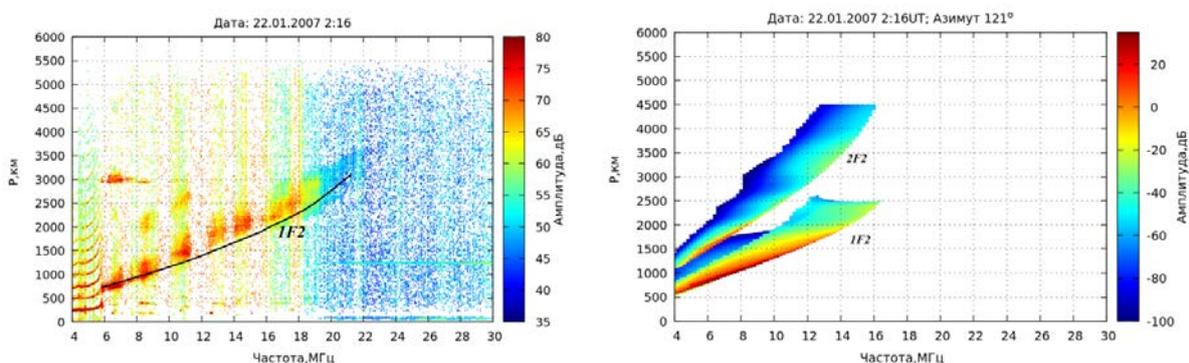


Рис. 2.2.2.3.1. Слева — ионограмма ВНЗ 22.01.2007, 02:16 UT, азимут 121°; справа — амплитудный рельеф сигнала ВНЗ 22.01.2007, 02:16 UT, азимут 121°

#### Публикация:

Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Oinats A.V. The investigation of signal shape for backscatter ionosphere sounding by continuous chirp signal // Proceedings SPIE: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2020. Vol. 11560, 1156084. DOI: 10.1117/12.2575059.

#### 2.2.2.4. Оперативная диагностика КВ-радиоканала по данным возвратно-наклонного зондирования ионосферы

Проект «Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — М.С. Пензин, к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук, д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

Разработан метод оперативной диагностики декаметрового радиоканала по данным возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ) ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом. Метод базируется на выделении переднего фронта сигнала ВНЗ при обработке и интерпретации экспериментальных ионограмм. Интерпретация сигналов на ионограмме проводится по результатам расчета минимального группового пути сигнала ВНЗ по переднему фронту в рамках волноводного подхода с использованием модели IRI. Используется свойство слабой изменчивости минимального группового пути рассеянного земной поверхностью сигнала на масштабированной сетке частот при изменении параметров ионосферы. Выделение переднего фронта сигнала ВНЗ на ионограммах позволяет проводить оперативное прогнозирование максимальных применимых частот (МПЧ) и рассчитывать траекторные характеристики наклонного распространения для заданных радиотрасс в секторе зондирования. На рис. 2.2.2.4.1 (слева) приведены результаты автоматической обработки и интерпретации ионограммы ВНЗ и результаты восстановления дистанционно-частотных характеристик наклонного зондирования (ДЧХ НЗ) на сетке дальностей по значениям МПЧ, рассчитанным по переднему фронту сигналов ВНЗ. На рис. 2.2.2.4.1 (справа) приведены результаты восстановления угловой частотной характеристики (УЧХ) сигналов НЗ для различных удалений от приемника в секторе возвратно-наклонного зондирования. Кроме того, сигнал ВНЗ несет в себе информацию о состоянии ионосферы на удалении несколько тысяч километров от места наблюдения в любом заданном направлении. Это существенно дополняет возможности, предоставляемые ионосферными станциями вертикального зондирования в изучении ионосферы и прогнозировании ее параметров. Разработан метод инверсии переднего фронта сигнала ВНЗ в параметры квазипараболического профиля электронной концентрации, что позволяет определить параметры ионосферы и восстановить пространственное распределение электронной концентрации в секторе зондирования.

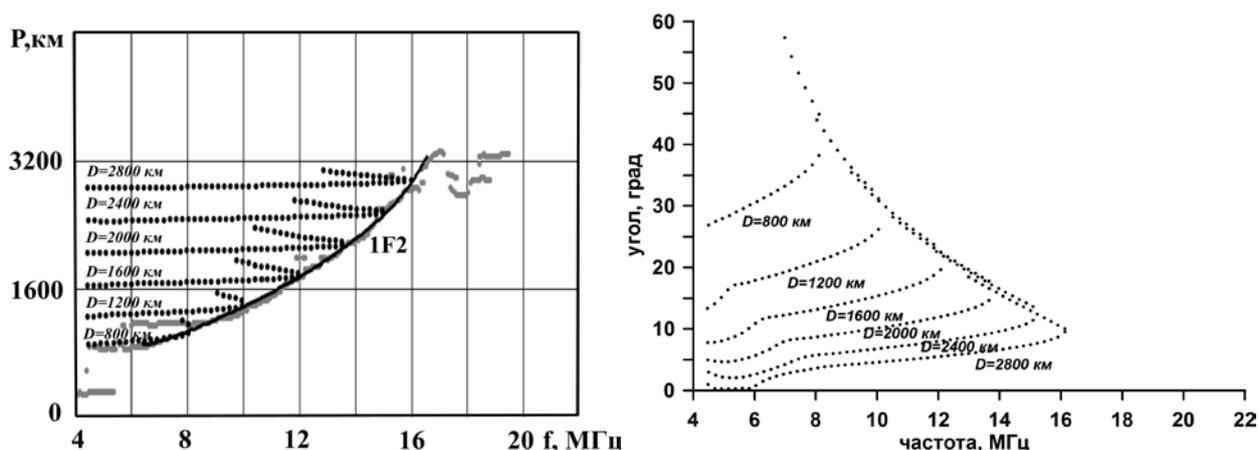


Рис. 2.2.2.4.1. Слева — результаты расчета ДЧХ НЗ на сетке дальностей по данным обработки и интерпретации ионограммы ВНЗ; справа — результаты расчета УЧХ НЗ на сетке дальностей по данным обработки и интерпретации ионограммы ВНЗ

#### Публикация:

Penzin M.S., Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I. The real-time diagnostics of HF radio channel on the base of ionospheric backscatter sounding data // XXXIIIrd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science. 2020. P. 1–3. DOI: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232353.

### 2.2.2.5. Численное моделирование дополнительных треков ионограммы вертикального зондирования в переходной фазе их слияния с основным треком

Проект «Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.А. Ларюнин, к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук.

Ионозонд вертикального зондирования (ВЗ) является одним из базовых инструментов для изучения динамических процессов в ионосфере Земли. На ионограммах ВЗ помимо основных треков, соответствующих отражениям от известных слоев ионосферы, могут присутствовать дополнительные Z-образные треки. Для интерпретации таких треков был разработан численный метод моделирования дальностно-частотных характеристик при ВЗ в условиях горизонтально-неоднородной ионосферы. Рассмотрено ионосферное возмущение в F2-слое, смещенное по горизонтали от точки зондирования. С наличием такого рода возмущения связана многолучевость распространения сигнала. На основе имитационного моделирования ионограмм с использованием метода геометрической оптики в изотропном приближении исследован дополнительный трек на ионограмме, который образуется за счет невертикальных траекторий. Рассмотрены вариации амплитуды возмущения и связанные с этим изменения формы дополнительного трека. Представлены характерные лучевые траектории, формирующие дополнительные треки ионограммы ВЗ. На рис. 2.2.2.5.1 представлены синтезированные и экспериментальные ионограммы ВЗ для различных значений амплитуды возмущений. Чем больше интенсивность возмущения, тем больше разведены две боковые траектории, и, соответственно, тем больше различаются их групповые пути, что и отражается на ионограмме.

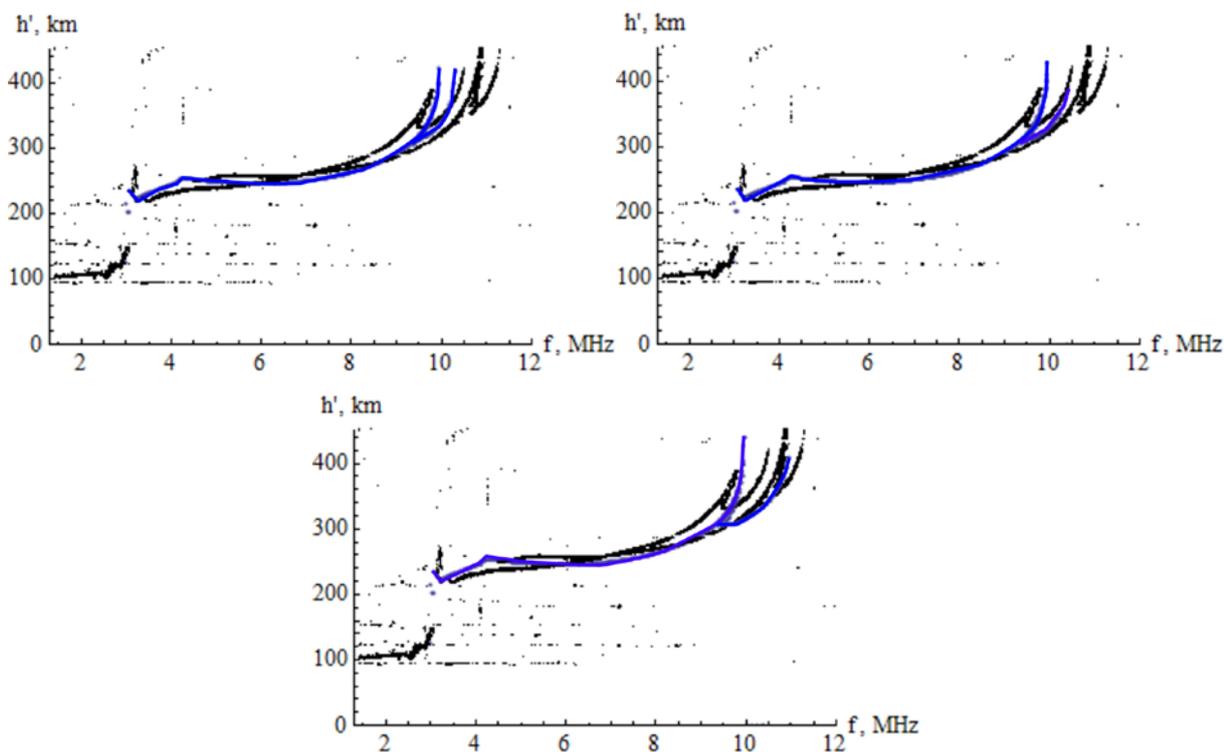


Рис. 2.2.2.5.1. Синтезированные и экспериментальные ионограммы ВЗ для различных значений амплитуды возмущений

#### Публикация:

Laryunin O.A., Ponomarchuk S.N. Numerical modeling of additional traces on vertical incidence ionograms in their state of merging with the main trace // Proceedings SPIE: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2020. Vol. 11560, 1156085. DOI: 10.1117/12.2575063.

### 2.2.2.6. Исследование среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений над Азиатским регионом России в 24-м цикле солнечной активности

Проект «Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. И.В. Медведева, А.А. Науменко, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный, Л.В. Чистякова, А.И. Поддельский, Ю.А. Теслюк.

На основе данных наклонного ЛЧМ-зондирования ионосферы в обширном Азиатском регионе России выявлены сезонные и внутрисуточные вариации вероятности регистрации сильных среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (СМ ПИВ) в 24-м цикле солнечной активности. Среднемасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения, вызывающие существенные (до 20–30 %) временные вариации максимальной наблюдаемой частоты (МНЧ) и многолучевость принимаемых коротковолновых сигналов в широком диапазоне частот, регулярно регистрируются на субполярных и среднеширотных трассах различного направления в азиатском секторе России. В качестве иллюстрации на рис. 2.2.2.6.1 приведены суточные вариации вероятности обнаружения СМ ПИВ на трассе Норильск — Иркутск в январе 2010 г. и июле 2011 г. Независимо от солнечной активности, в зимний период ПИВ наблюдались в основном в дневные часы с вероятностью до 60 %. Весной интервал регистрации СМ ПИВ расширялся до круглосуточного с понижением максимальных значений среднемесячных вероятностей регистрации СМ ПИВ в отдельные часы до 30 %. В летние месяцы формировался максимум вероятности регистрации СМ ПИВ (50–60 %) в ночные часы местного времени для средней точки трассы. Во время внезапного стратосферного потепления в феврале 2016 г. вероятность регистрации ПИВ существенно повышалась и в отдельных случаях днем достигала 80–100 %.

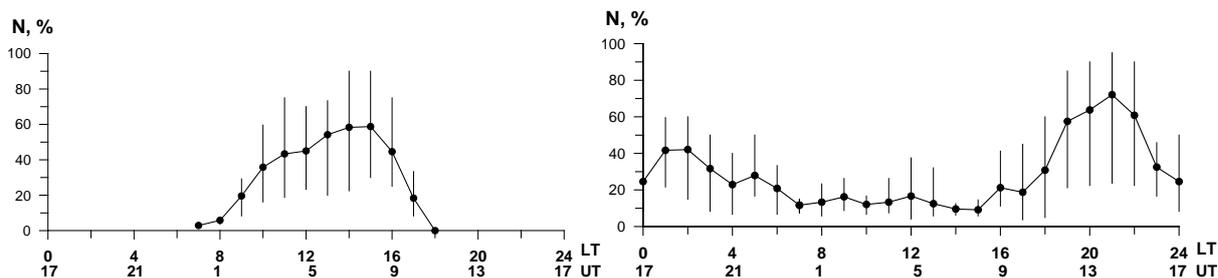


Рис. 2.2.2.6.1. Вероятность обнаружения СМ ПИВ на трассе Норильск — Иркутск: слева — январь 2010 г., справа — июль 2011 г.

#### Публикация:

Kurkin V.I., Medvedeva I.V., Naumenko A.A., Podlesnyi A.V., Chistyakova L.V., Poddelsky A.I., Teslyuk Yu.A. Investigation of medium-scale traveling ionospheric disturbances over the Asian region of Russia during solar cycle 24 // Proceedings SPIE: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2020. Vol. 11560, 115608F. DOI: 10.1117/12.2575513

### 2.2.2.7. Пространственно-временное развитие ионосферных неоднородностей различных масштабов в Центральной и Восточной Сибири во время геомагнитной бури 27–28 мая 2017 г.

Проект «Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

Проведено мультиинструментальное исследование ионосферных неоднородностей различных масштабов (от десятков сантиметров до нескольких километров), наблюдавшихся над Центральной и Восточной Сибирью во время умеренной геомагнитной бури

27–28 мая 2017 г. По данным КВ- и УКВ-радаров наблюдалось интенсивное авроральное рассеяние, которое появилось сразу после начальной фазы геомагнитной бури. Дополнительно исследовались индекс вариаций ПЭС по данным GPS-станций, доступных в данном регионе. Данные ионозондов, КВ- и УКВ-радаров свидетельствовали о наличии интенсивных мультимасштабных ионосферных неоднородностей. Выявлена корреляция между обусловленными неустойчивостью Фарли — Бунемана авроральными ионосферными неоднородностями различных масштабов в E-слое во время геомагнитной бури. По данным КВ-радара ЕКВ рассеяние на ионосферных неоднородностях идентифицировалось по измерениям доплеровской скорости и спектральной ширины принимаемых эхосигналов. Для иллюстрации на рис. 2.2.2.7.1 приведено распределение доплеровской скорости зарегистрированных рассеянных сигналов в зависимости от магнитной широты и времени суток на луче № 2 радара ЕКВ с азимутом  $2.2^\circ$ . Анализ показал, что область интенсивных неоднородностей связана и расположена немного экваториальнее области продольных токов (FAC) и аврорального овала на разных стадиях геомагнитной бури. Возрастание и смещение к экватору продольных токов 1-й и 2-й зон приводит к появлению и расширению к экватору области ионосферных неоднородностей. Во время проявления нисходящих (восходящих) продольных токов 1-й зоны и восходящих (нисходящих) продольных токов 2-й зоны возникал восточный восходящий (западный нисходящий) E×B-дрейф ионосферных неоднородностей. Одновременное исчезновение аврорального УКВ/КВ-рассеяния и уменьшение индекса GPS ROT произошло во время продолжительного околополуденного разворота продольных токов 1-й и 2-й зоны, который сопровождался деградацией и исчезновением высокоэнергичных авроральных высыпаний.

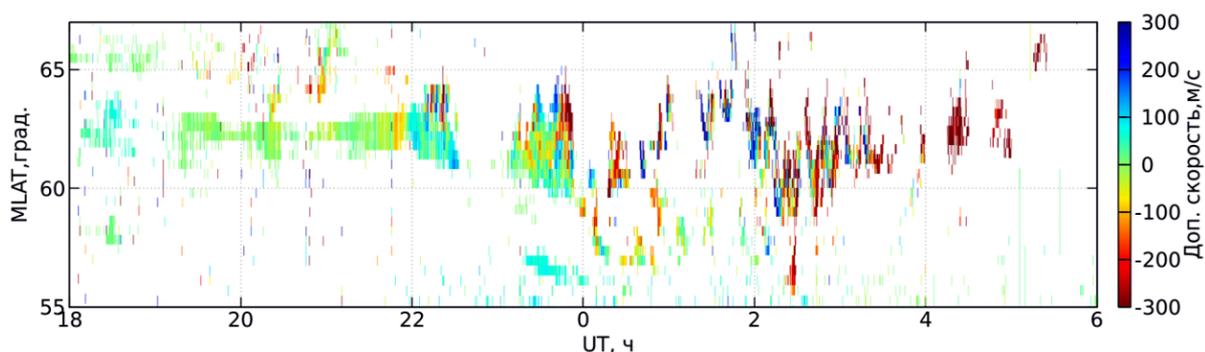


Рис. 2.2.2.7.1. Широтно-временное распределение доплеровских скоростей зарегистрированных рассеянных сигналов на луче № 2 радара ЕКВ с азимутом  $2.2^\circ$  (п. Арти)

#### Публикация:

Ovodenko V.B., Klimenko M.V., Zakharenkova I.E., Oinats A.V., Kotova D.S., Nikolaev A.V., Tyutin I.V., Rogov D.D., Ratovsky K.G., Chugunin D.V., Budnikov P.A., Coxon J.C., Anderson B.J., and Chernyshov A. A. Spatial and temporal evolution of different-scale ionospheric irregularities in Central and East Siberia during the 27–28 May 2017 geomagnetic storm // Space Weather. 2020. Vol. 18, iss. 6, e2019SW002378. DOI: 10.1029/2019SW002378.

#### 2.2.2.8. Подход обобщенной силы к идентификации верхних и нижних лучей в задаче двухточечной трассировки ионосферных лучей

Проект «Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — И.А. Носиков, к.ф.-м.н. М.В. Клименко, к.ф.-м.н. Г.А. Жбанков, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный, В.А. Иванова, к.ф.-м.н. П.Ф. Бесараб.

Апробирован способ прямой оптимизации для двухточечного ионосферного лучевого метода. Способ хорошо подходит для приложений, где начальное направление радиолуча неизвестно, но указано местоположение приемника. Итеративная трансформация

предполагаемой траектории распространения определяется обобщенной силой, которая зависит от типа луча. Для верхних лучей используется отрицательный градиент функционала оптического пути. Для нижних лучей применяется трансформация градиента, преобразующая седловую точку в окрестность локального минимума. Знание о характере лучей используется, чтобы установить схему систематической идентификации всех соответствующих лучей между данными точками, без необходимости обеспечивать аккуратное начальное вычисление каждого решения. Различные применения данного метода прямой оптимизации для изотропной ионосферы демонстрируют его способность решать комплексные лучевые конфигурации, включая распространение в трех измерениях и многолучевое распространение, когда лучи близки к начальному направлению. Результаты применения этого метода для определения траекторий распространения сигнала на радиотрассе Хабаровск — Торы показали хорошее количественное согласие рассчитанных дистанционно-частотных характеристик (ДЧХ) с измеренными наклонными ионограммами. На рис. 2.2.2.8.1 приведены экспериментальные ионограммы и результаты моделирования ДЧХ мода распространения 1F2.

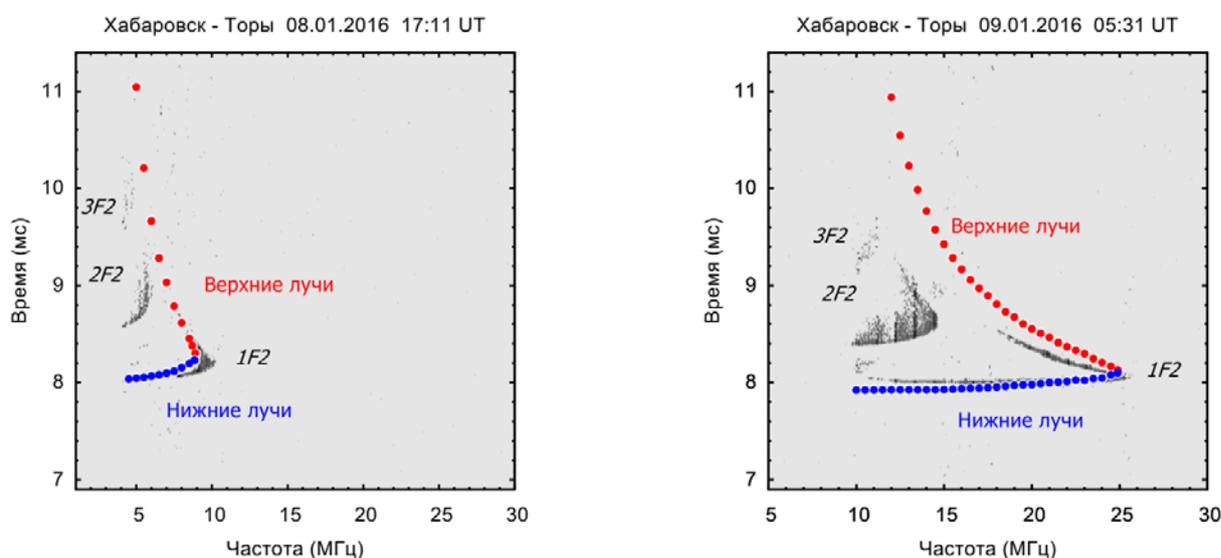


Рис. 2.2.2.8.1. Ионограммы наклонного зондирования и результаты моделирования ДЧХ мода распространения 1F2 на радиотрассе Хабаровск — Торы

#### Публикация:

Nosikov I., Klimenko M., Zhbankov G., Podlesnyi A., Ivanova V., Bessarab P. Generalized force approach to the identification of high and low rays in the point-to-point ionospheric ray tracing problem // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2020. Vol. 68, iss. 1. P. 455–467. DOI: 10.1109/TAP.2019.2938817.

#### 2.2.2.9. Методика полуавтоматической регистрации СМ ПИВ по данным наклонного зондирования

Проект «Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — В.А. Иванова, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный, А.А. Науменко, А.И. Поддельский.

Разработана методика полуавтоматической регистрации среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (СМ ПИВ) по Z-образному перегибу на верхнем луче дистанционно-частотной характеристики (ДЧХ) для мода 1F2 на ионограмме наклонного зондирования (НЗ). На ионограмме НЗ крупномасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения (КМ ПИВ) проявляются как значительные вариации максимальных наблюдаемых частот (МНЧ) без изменений структуры трека на ионограмме. В

отличие от КМ ПИВ, среднemasштабные ПИВ изменяют форму трека верхнего луча ДЧХ НЗ, образуя специфический Z-образный перегиб, или касп. Когда СМ ПИВ достигает средней точки трассы, он может изменять МНЧ так же, как КМ ПИВ. Методика опробована на трассах наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом Хабаровск — Торы, Магадан — Торы, Норильск — Торы. Результаты определения МНЧ и максимальных частот Z-образного перегиба на верхнем луче ДЧХ НЗ на исследуемых радиотрассах для 26.03.2017 приведены на рис. 2.2.2.9.1. На основе обработки экспериментальных данных НЗ на радиотрассах проводится статистический анализ случаев регистрации СМ и КМ ПИВ по вариациям МНЧ.

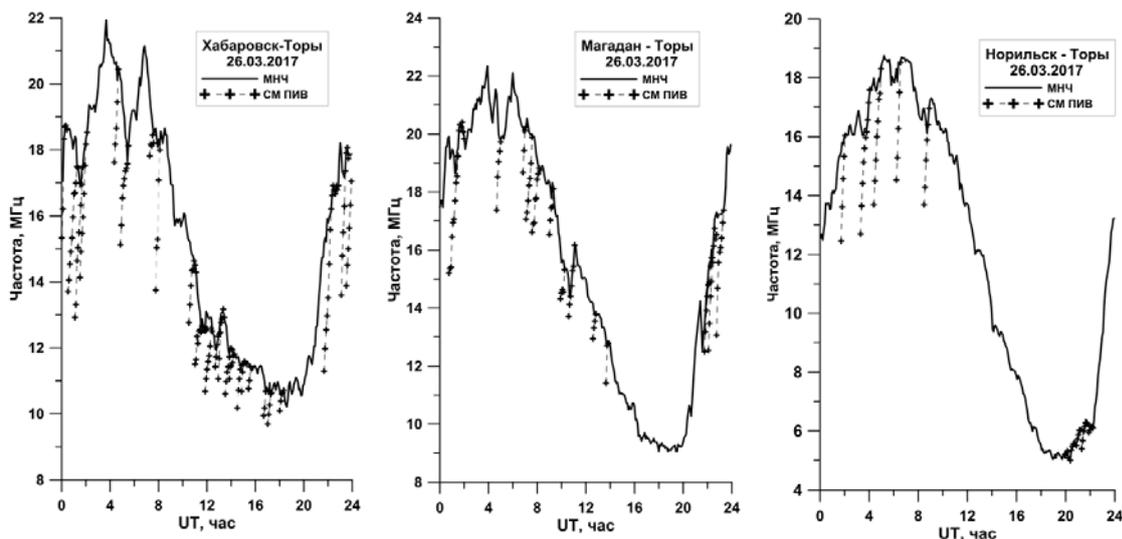


Рис. 2.2.2.9.1. Вариации МНЧ (сплошная линия) и максимальных частот Z-образного перегиба на верхнем луче ДЧХ НЗ (крестики) на исследуемых радиотрассах для 26.03.2017

**Публикация:**

Ivanova V.A., Podlesnyi A.V., Naumenko A.A., Poddelsky A.I. Method of semi-automatic registration of MS TID using oblique-incidence sounding data // Proc. SPIE: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2020. Vol. 11560, 115608H. DOI: 10.1117/12.2575521.

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

**2.2.3.1. Сезонные изменения уходящей длинноволновой радиации и приповерхностной температуры в спокойных геомагнитных условиях**

Проект «Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат». Руководитель — академик Г.А. Жеребцов. Ответственные исполнители — д.ф.-м.н. В.А. Коваленко, д.ф.-м.н. Н.П. Первалова. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.А. Карahanян, к.ф.-м.н. С.И. Молодых.

В рамках вопроса о влиянии гелиогеофизических возмущений на радиационный баланс тропосферы проведен анализ сезонных изменений уходящей длинноволновой радиации (УДР) и приповерхностной температуры в спокойных геомагнитных условиях по спутниковым данным с 1979 по 2018 г. На основе среднесуточных данных были рассчитаны карты корреляции между УДР и температурой на уровне 1000 гПа для временных масштабов сезон—год в спокойный период (индекс PC  $\leq 0.7$ ). Показано, что в оптически

тонкой атмосфере ( $\tau < 2$ ) поглощение водяным паром приводит к линейной зависимости УДР от температуры на широтах выше  $30^\circ$ . Обнаруженная антикорреляция между УДР и приповерхностной температурой над океанами в зимний период до широты  $60^\circ$  обоих полушарий связана с влиянием облачности. В низких широтах нарушение корреляции происходит в оптически толстой атмосфере ( $\tau > 2$ ), в которой поглощение водяного пара «перекompенсует» излучение подстилающей поверхности, приводя к антикорреляции между УДР и температурой (рис. 2.2.3.1.1). Таким образом, в спокойных гелиогеофизических условиях поглощение уходящей длинноволновой радиации водяным паром является основным фактором, влияющим на связь УДР с приповерхностной температурой.

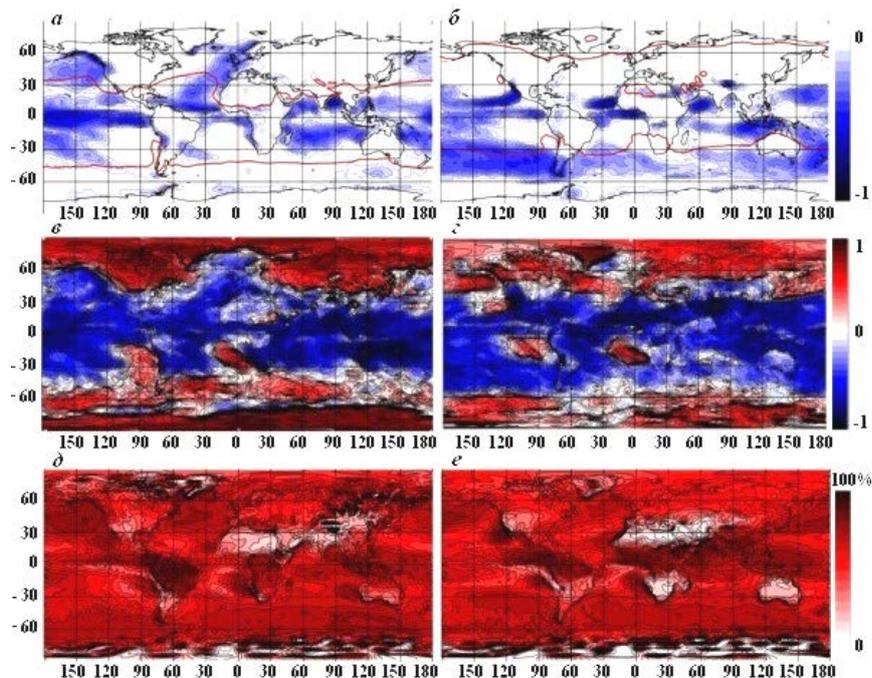


Рис. 2.2.3.1.1. Карты корреляции между УДР и приповерхностной температурой по сезонам: а — XII–II месяцы; б — VI–VIII месяцы; красная линия — уровень оптической толщины атмосферы. Карты корреляции между УДР и массой водяного пара: в — XII–II месяцы; г — VI–VIII месяцы. Сезонное распределение облачности: д — XII–II месяцы; е — VI–VIII месяцы

#### Публикации:

Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Seasonal variations of outgoing longwave radiation from satellite data // Proc. SPIE. 2020. Vol. 11560. P. 1156066-1–1156066-4. DOI: 10.1117/12.2574927.

Molodykh S.I., Zherebtsov G.A., Karakhanyan A.A. Estimation of solar activity impact on the outgoing infrared-radiation flux // Geomagnetism and Aeronomy. 2020. Vol. 60, no. 2. P. 205–211. DOI: 10.1134/S0016793220020103.

#### 2.2.3.2. Анализ результатов исследования и моделирования низкочастотных вариаций метеорологических полей в бароклинной механистической модели МСВА

Проект «Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат». Руководитель — академик Г.А. Жеребцов. Ответственные исполнители — д.ф.-м.н. В.А. Коваленко, д.ф.-м.н. Н.П. Перевалова. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева, к.ф.-м.н. В.И. Мордвинов, Н.С. Домбровская.

По данным архива ERA-interim и результатам расчетов с помощью модели средней и верхней атмосферы (МСВА) выполнен анализ вариаций средних зональных характеристик атмосферы (рис. 2.2.3.2.1). В диапазоне 10–30 сут выделены синхронные колебания

метеорологических величин в протяженных по широте и вертикали зонах. Колебания имеют глобальный характер и очень похожи по данным наблюдений и результатам расчетов. Близкое соответствие между наблюдениями и расчетами в механистической бароклинной модели МСВА позволяет предположить, что выделенные вариации, скорее всего, являются собственными колебаниями атмосферы, однако какой фактор ответственен за их возникновение — неустойчивости струйных течений или топография, пока не ясно.

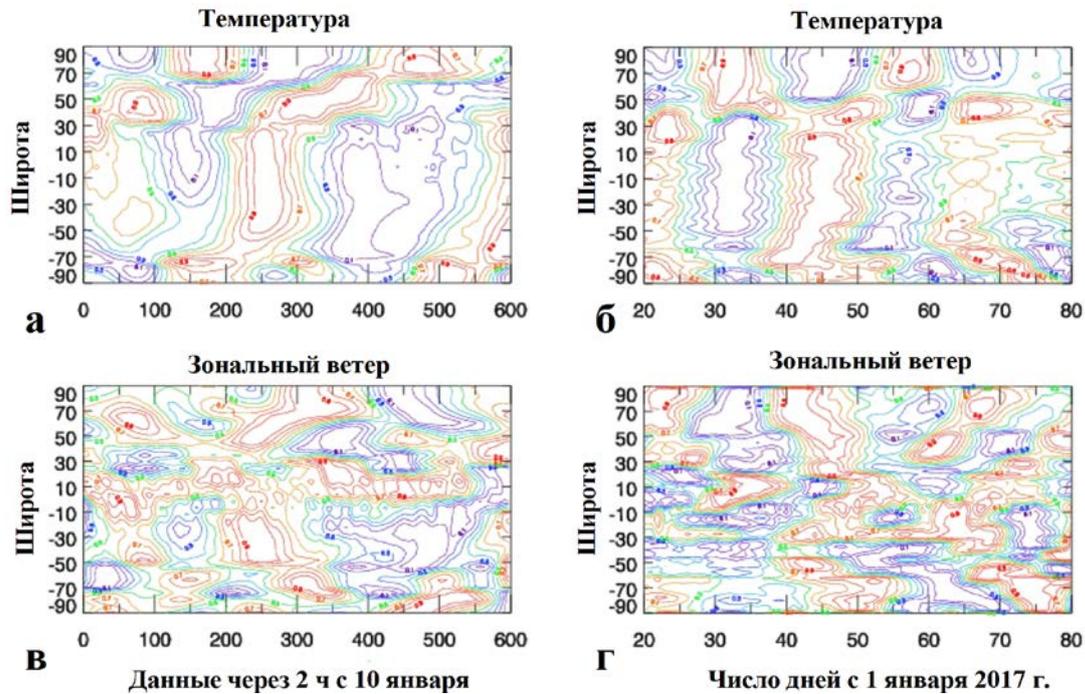


Рис. 2.2.3.2.1. Вариации со временем распределений средних зональных величин температуры (а, б) и зональной компоненты скорости ветра (в, г) на уровне 10 гПа по результатам расчетов (а, в) и данным ERA-interim (б, г)

**Публикация:**

Zorkaltseva O.S., Mordvinov V.I., Pogoreltsev A.I., Dombrovskaya N.S. Dynamics of zonally averaged circulation characteristics in the middle atmosphere // *Izvestiya. Atmos. and Ocean. Phys.* 2020. Vol. 56, no. 4. P. 378–389. DOI: 10.1134/S0001433820040118.

**2.2.3.3. Проявления солнечной активности в интегральном свечении ночной атмосферы Земли по данным наблюдений в 24-м солнечном цикле**

Проект «Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат». Руководитель — академик Г.А. Жеребцов. Ответственные исполнители — д.ф.-м.н. В.А. Коваленко, д.ф.-м.н. Н.П. Первалова. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.В. Михалев, С.В. Подлесный.

Интегральное излучение ночной атмосферы является естественным фоном, который ограничивает возможности астрономических и оптических наблюдений слабых объектов в ночной атмосфере. В отчетный период предпринята попытка выявления влияния солнечной активности в интегральном излучении свечения ночной атмосферы при его регистрации R-, G-, B-каналами цветной камеры. С этой целью разработана методика автоматического разделения данных наблюдений для ясных и облачных условий. Предварительные исследования показали слабую зависимость интегрального свечения ночного неба (в R-, G-, B-каналах) от уровня солнечной активности по индексу  $F_{10.7}$  (рис. 2.2.3.3.1, а).

Завершены исследования проявления солнечной активности в вариациях интенсивности доминирующих эмиссий ночного неба атомарного кислорода [OI] 557.7 и 630.0 нм в 24-м солнечном цикле. Использовались данные оптических наблюдений в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН в 2011–2019 гг. Получена статистически значимая (коэффициент корреляции 0.7–0.8) корреляционная зависимость интенсивности эмиссии 630.0 нм от индекса  $F10.7$  (рис. 2.2.3.3.1, б):  $I_{630} = (0.005 \pm 0.0038) \cdot F10.7 + 0.45$ , которая достаточно хорошо согласуется с известной эмпирической моделью, построенной по данным наблюдений в 19–22-м солнечных циклах (1958–1992 гг.). Это может указывать на сохранение основных физических механизмов, формирующих связь эмиссии 630.0 нм с солнечной активностью, на протяжении последних нескольких циклов солнечной активности. Показано, что в вариациях эмиссии 557.7 нм в 24-м солнечном цикле определяющую роль играла динамика нижней атмосферы: вариации эмиссии 557.7 нм в большей степени коррелировали с квазидвухлетними колебаниями зонального ветра в стратосфере. Вероятно, это обусловлено сочетанием более низкого высотного расположения эмиссионного слоя 557.7 нм и аномально низким уровнем солнечной активности в 24-м солнечном цикле.

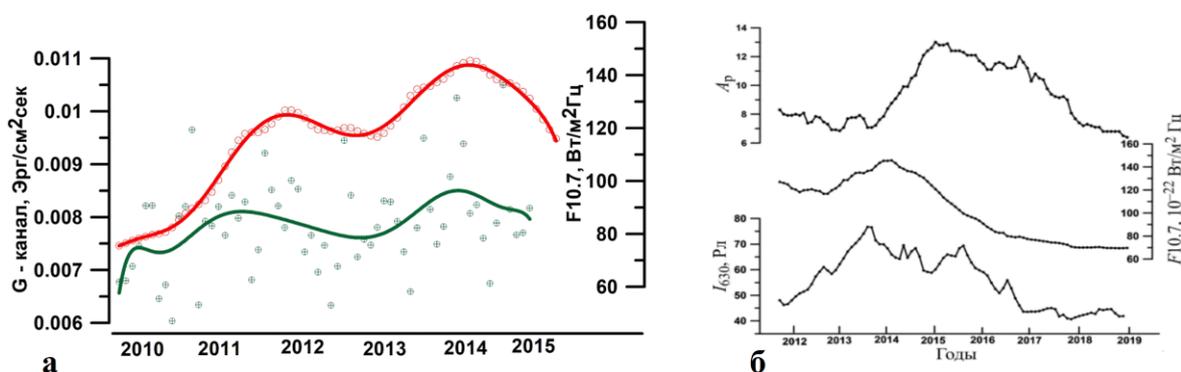


Рис. 2.2.3.3.1.1. Вариации среднемесячных значений (а) интенсивности интегрального излучения в цветовом канале G (G, зеленая кривая) и индекса  $F10.7$  (красная кривая); коэффициент корреляции между G и  $F10.7$  составляет около 0.36. Вариации среднемесячных значений (б) интенсивности эмиссии 630.0 нм ( $I_{630}$ , нижняя кривая) и индексов  $F10.7$  (средняя кривая) и  $A_p$  (верхняя кривая); скользящие средние с усреднением по 13 мес.

#### Публикация:

Mikhalev A.V. Manifestation of solar activity and dynamics of the atmosphere in variations of 577.7 and 630.0 nm atmospheric emissions in solar cycle 24 // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, no. 3. P. 81–85. DOI: 10.12737/stp-63202011.

#### 2.2.3.4. Оценка отношений основных нейтральных составляющих термосферы в 2014–2017 гг. на высотах ионосферного слоя F1 над Иркутском

Проект «Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат». Руководитель — академик Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. Г.П. Кушнарченко, О.Е. Яковлева, Г.М. Кузнецова.

Получены оценки сезонных вариаций основных газовых составляющих термосферы ( $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$ ) за период 2014–2017 гг. Расчеты выполнены с помощью полуэмпирической модели ионосферы (ПЭМ), разработанной в ИСЗФ СО РАН. Для оценок использовались измерения Иркутским дигизондом электронной концентрации на высотах 120–200 км в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях.

Установлено, что во время геомагнитных возмущений во все сезоны увеличивается относительное содержание молекулярной компоненты нейтральной составляющей термосферы и уменьшается атомарной (рис. 2.2.3.4.1). В сравнении с 2014 г. значения  $[O_2]/[O]$

увеличились к 2017 г. в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях: летом и весной — в пределах 30 % и 20 % соответственно, зимой и осенью — в пределах 10 %, а значения  $[O]/[N_2]$  уменьшились в среднем на 15 %. Подтвердилось предположение о том, что летом в спокойных геомагнитных условиях отношение  $[O_2]/[O]$  увеличивается при понижении уровня солнечной активности.

Наши оценки отношений  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  выявили значительное расхождение с соответствующими величинами по модели МСИС во время сильных и умеренных геомагнитных возмущений в период спада солнечной активности. Оценки основных газовых составляющих по имеющейся методике позволяют проводить процедуру коррекции модели термосферы применительно к конкретным гелиогеофизическим условиям. Важно, что решение такой задачи осуществляется на базе регулярных ионосферных измерений методом вертикального зондирования.

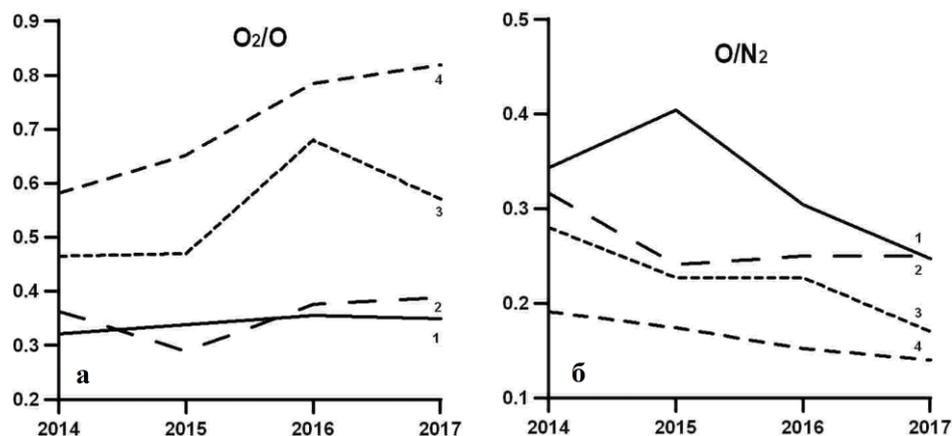


Рис. 2.2.3.4.1. Сезонные изменения  $[O_2]/[O]$  (а) и  $[O]/[N_2]$  (б) в спокойных геомагнитных условиях: 1 — зима, 2 — осень, 3 — весна, 4 — лето

#### Публикация:

Kushnarenko G.P., Yakovleva O.E., Kuznetsova G.M. Estimated relations between the main thermospheric neutral components at ionospheric F1-layer heights above Irkutsk in 2014–2017 // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, no. 3. P. 90–93. DOI: 10.12737/stp-63202013.

#### 2.2.3.5. Атмосфера над Норильском ниже 200 км в условиях минимума и максимума солнечной активности

Проект «Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат». Руководитель — академик Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. Г.П. Кушнаренко, О.Е. Яковлева, Г.М. Кузнецова.

Выполнены оценки сезонных изменений относительных величин основных газовых составляющих термосферы  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  над Норильском в 2014 г. (год максимума солнечной активности). Для оценок использовались полуэмпирическая модель ионосферы ПЭМ и результаты измерений с помощью дигизонда в Норильске на высотах ионосферного слоя F1 (120–200 км) в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях. Отношения  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  сравнивались с соответствующими величинами, полученными ранее для периода длительного минимума (2007–2009 гг.). Обнаружено, что в условиях максимума солнечной активности отношение  $[O_2]/[O]$  зимой и осенью уменьшается до 35 %, а весной и летом увеличивается на 15–20 % в спокойные и возмущенные дни (рис. 2.2.3.5.1). В максимуме солнечной активности наибольшие значения  $[O_2]/[O]$  наблюдаются летом и весной, наименьшие — осенью. Во время геомагнитных возмущений значения  $[O_2]/[O]$  увеличиваются во все сезоны как в максимуме, так и в минимуме солнечной ак-

тивности. В период минимума это изменение находится в пределах 10 % во все сезоны, в максимуме солнечной активности возрастание значительнее: до 17 % зимой и весной, до 28 % осенью, однако летом оно по-прежнему находится в пределах 10 %.

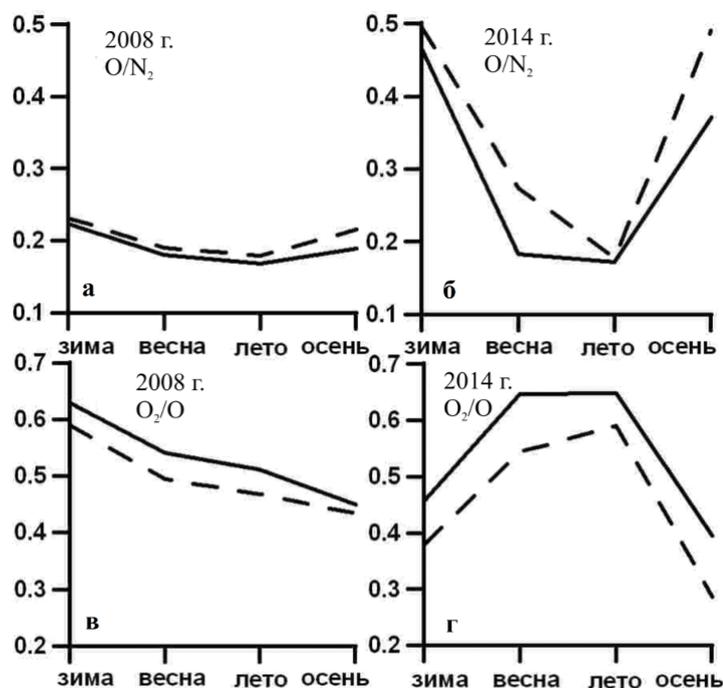


Рис. 2.2.3.5.1. Средние отношения  $[O]/[N_2]$  и  $[O_2]/[O]$  в год минимума (2008 г.) (а, в) и максимума (2014 г.) (б, г) солнечной активности. Штриховыми линиями показаны изменения в спокойных условиях

#### Публикация:

Yakovleva O.E., Kushnarenko G.P., Kuznetsova G.M. The atmosphere below 200 km over Norilsk at solar minimum and maximum // Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 6, no. 3. P. 86–89. DOI: 10.12737/stp-63202012.

#### 2.2.3.6. Особенности влияния геомагнитной активности на уровень возмущенности полного электронного содержания

Проект «Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат». Руководитель — академик Г.А. Жеребцов. Авторы результата — А.В. Рубцов, Б.М. Малецкий, Е.И. Данильчук, Е.Е. Смотров, А.Д. Шелков, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич.

На основе комплекса радиофизических и оптических инструментов выполнено исследование вариаций параметров ионосферы над регионом Иркутска в периоды двух геомагнитных бурь 12–15 апреля 2016 г. Для исследования использовались данные о вариациях полного электронного содержания (ПЭС), полученные на наземных двухчастотных приемниках сигналов (станции IRKJ, IRKM и BADG) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), данные ионозонда DPS-4, Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР), а также оптические измерения широкоугольной высокочувствительной фотокамерой. Несмотря на относительно невысокую интенсивность бурь ( $Dst \geq -55$  и  $-59$  нТл), выявлен отчетливый ионосферный отклик на данные возмущения (рис. 2.2.3.6.1).

Во время главной фазы первой бури наблюдалось отрицательное возмущение электронной концентрации  $N_e$  и критической частоты F2-слоя  $f_oF2$ . Для второй бури отрицательное возмущение было более интенсивным: уменьшение  $f_oF2$  относительно спокойного дня составило более 30 %. Отрицательное возмущение  $N_e$  сопровождалось увеличением

высоты максимума слоя  $h_mF2$ , а также направленным вниз дрейфом плазмы в вечернее и ночное время, не характерным для спокойных условий. В период главной фазы второй бури зарегистрировано пикообразное увеличение интенсивности эмиссии 630 нм в атмосфере. Во время бурь зарегистрированы резкие всплески значений индекса  $AATR$ , который использовался в качестве критерия оценки интенсивности вариаций ПЭС. Указанные всплески имели большую интенсивность во время первой бури, коррелируя с явлением F-рассеяния на ионограммах дигизонда DPS-4, но встречались чаще во время второй бури. Всплески индекса  $AATR$  свидетельствуют об интенсификации мелкомасштабных ионосферных возмущений, вызванных беспокойной геомагнитной обстановкой и высокой суббуревой активностью.

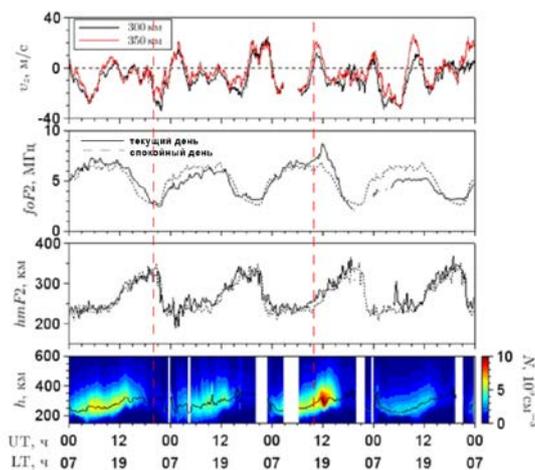


Рис. 2.2.3.6.1. Вариации ионосферных параметров над Иркутском 12–15 апреля 2016 г. (сверху вниз): скорость вертикального ионосферного дрейфа на высотах 300 и 350 км по данным ИРНР;  $foF2$  и  $h_mF2$  по данным DPS-4; концентрация электронов  $N_e$  на высотах 150–600 км и высота максимума концентрации (черная линия) по данным ИРНР. Вертикальными линиями показаны моменты начала главных фаз бурь

#### Публикация:

Rubtsov A.V., Maletckii B.M., Danilchuk E.I., Smotrova E.E., Shelkov A.D., Yasyukevich A.S. Ionospheric disturbances over Eastern Siberia during April 12–15, 2016 geomagnetic storms // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 1. P. 60–68. DOI: 10.12737/stp-61202007.

#### 2.2.3.7. Метод оценки абсолютного наклонного и вертикального полного электронного содержания на основе данных GPS/ГЛОНАСС/Galileo/BeiDou

Проект «Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат». Руководитель — академик Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, к.ф.-м.н. А.А. Мыльникова, А.М. Веснин.

Разработан новый метод TuRBOTES оценки абсолютного полного электронного содержания ионосферы на основе регистрации сигналов ГНСС GPS/ГЛОНАСС/Galileo/BeiDou на двух частотах отдельным приемником. Отличительной особенностью метода TuRBOTES является обеспечение положительных значений как для всех оценок вертикального ПЭС, так и для всех измерений ПЭС на наклонных лучах приемник — спутник. Преимущества обусловлены использованием метода наименьших квадратов с ограничениями, а также разложением поля ПЭС по пространству и времени до производных второго порядка.

Рисунок 2.2.3.7.1, а показывает, что при старой калибровке могут появляться отрицательные значения в наклонных измерениях ПЭС, отсутствующие при использовании метода

TuRBOTEC. Работоспособность технологии TuRBOTEC проверена на основе моделирования работы этого алгоритма с использованием международных моделей IRI-2012 и IRI-Plas, а также привлечения альтернативных данных и алгоритмов (глобальные ионосферные карты ПЭС CODE и JPL, карты ПЭС Madrigal, методы IONOLAB и SEEMALA-TEC). Рисунок 2.2.3.7.1, б демонстрирует хорошее согласование оценок вертикального ПЭС с данными глобальных ионосферных карт CODE. Использование ограничений приводит к исправлению ~9 % измерений вертикального абсолютного ПЭС более чем на 1 TECU.

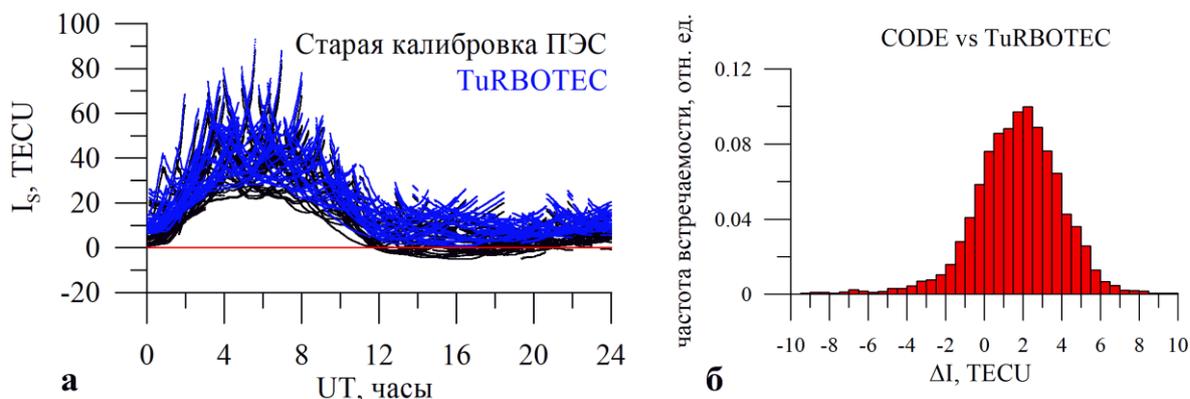


Рис. 2.2.3.7.1. Наклонное абсолютное ПЭС по всем лучам приемник IRKJ — спутник GPS/ГЛОНАСС (а), полученное на основе метода TuRBOTEC (синие точки) и алгоритма предыдущего поколения TayAbsTEC (черные точки). Гистограмма распределения отклонений вертикального абсолютного ПЭС по данным TuRBOTEC и глобальных ионосферных карт CODE (б)

### Публикация:

Yasyukevich Y., Mylnikova A., Vesnin A. GNSS-based non-negative absolute ionosphere total electron content, its spatial gradients, time derivatives and differential code biases: Bounded-variable least-squares and Taylor series // Sensors. 2020. Vol. 20, no. 19, article ID 5702. DOI: 10.3390/s20195702.

## 2.2.4. Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли

### 2.2.4.1. Исследование взаимосвязи высоты максимума электронной концентрации с вертикальным и меридиональным ветрами по трем зимним сезонам

Проект «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, М.Ф Артамонов, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

В рамках комплексного исследования динамики атмосферы на высотах ~250 км был проведен сравнительный анализ изменения высоты максимума электронной концентрации  $H_mF2$ , наблюдаемой с помощью дигизонда DPS-4, и модельной высоты, полученной при помощи сервомодели замагниченной плазмы, а также динамики скоростей вертикального и меридионального нейтральных ветров по данным интерферометра Фабри — Перо КЕО Scientific «Arinae» (ИФП). Традиционно считается, что именно меридиональный ветер оказывает влияние на вариации высоты максимума электронной концентрации, под действием которого замагниченная плазма перемещается вдоль линий геомагнитного поля, однако вертикальный ветер на широте наблюдения (окрестности г. Иркутска) также должен вносить существенный вклад. Как видно из рис. 2.2.4.1.1, в целом изменения высоты  $H_mF2$  хорошо коррелируют как с отдельными вариациями компонент скорости ветра, так и с моделированной высотой  $H_mF2$ , зависящей от проекций этих компонент. Расчет коэффициентов корреляции наблюдаемой  $H_mF2$  со скоростью вертикального ветра показал

большую значимость вертикального ветра в наблюдаемой вариации  $H_mF2$ , чем меридионального. Кроме того, модельный расчет с учетом обеих компонент ветра показывает максимальное соответствие наблюдаемой высоте максимума концентрации F2-слоя, что может объяснять природу ее изменения. Данное исследование может служить косвенным подтверждением наличия вертикального ветра на высотах  $\sim 250$  км.

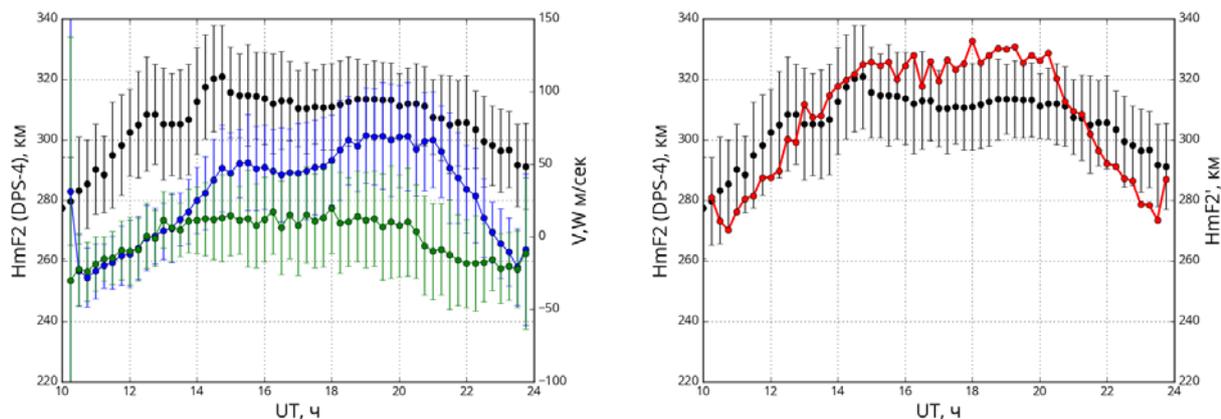


Рис. 2.2.4.1.1. Слева: черные значки — высота максимума  $H_mF2$  (дигизонд); синие значки — меридиональный ветер (положительное направление на север), зеленые значки — вертикальный ветер (положительное направление вверх). Справа: высота максимума  $H_mF2$ , полученная с помощью дигизонда (черные значки) и по модели «дрейфа» под действием вертикального и меридионального ветров (красные значки)

#### Публикация:

Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Зоркальцева О.С., Комарова Е.С., Медведева И.В., Михалев А.В., Подлесный С.В., Ратовский К.Г., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Ткачев И.Д. Научные задачи оптических инструментов Национального геофизического комплекса // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 105–122. DOI: 10.12737/szf-62202008.

#### 2.2.4.2. Исследование поведения зимней ночной температуры и зеленого свечения атомарного кислорода в мезосфере — нижней термосфере

Проект «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева, А.В. Саункин.

Были исследованы температура и эмиссия 557.7 нм в MLT над Геофизической обсерваторией ИСЗФ СО РАН (п. Торы, 51.8° N, 103.1° E) в зимний период 2018–2019 гг. Для анализа использовались данные измерений с помощью интерферометра Фабри — Перо (ИФП), данные SABER/TIMED, данные модели средней и верхней атмосферы (MCBA) и данные архива ERA-interim. Было установлено, что эмиссия зеленой линии 557.7 нм по данным ИФП и SABER уменьшается при увеличении амплитуды стационарных планетарных волн (ПВ) в стратосфере, а также при внезапных стратосферных потеплениях (ВСП) (рис. 2.2.4.2.1). Однако при наличии ВСП и ПВ температура по данным ИФП значительно возрастает, а по данным SABER значения температуры понижаются. Были обсуждены возможные причины этих различий, вероятно вызванных вариациями высоты эмиссионного слоя и особенностями наблюдений SABER. Данные MCBA подтверждают наши предположения о причинах различий между температурами SABER и ИФП.

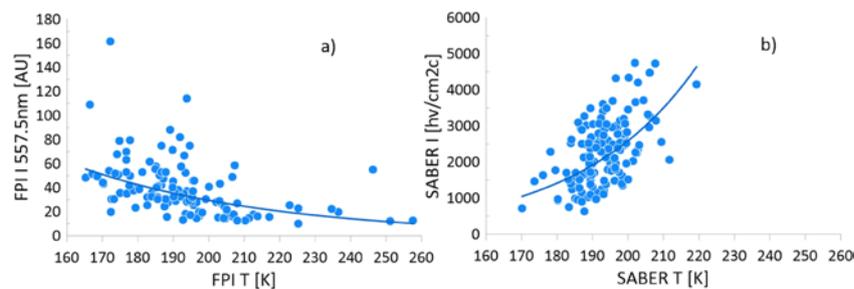
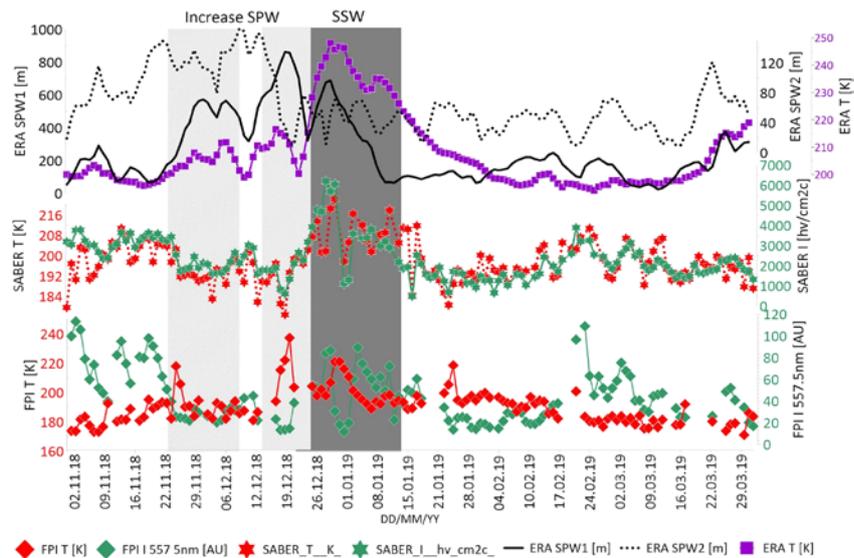


Рис. 2.2.4.2.1. Верхняя панель — вариации амплитуды ПВ1 и ПВ2, средняя зональная температура вдоль  $80^\circ$  N на уровне 10 гПа, вариации температуры и интенсивности эмиссии 557.7 нм по данным ИФП и SABER; нижние панели — зависимость температуры и эмиссии 557.7 нм по данным: *a* — ИФП, *b* — SABER

#### Публикации:

Zorkaltseva O.S., Vasilyev R.V., Saunkin A.V., Pogoreltsev A.I. The study of temperature and night green airglow at mid-latitude in MLT during winter // Proc. SPIE: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2020. Vol. 11560, 1156081. DOI:10.1117/12.2574914.

Zorkaltseva O.S. Vasilyev R.V. Stratospheric influence on MLT over mid-latitudes in winter by Fabry-Perot interferometer data // Ann. Geophys. 2020. (In print).

#### 2.2.4.3. Исследование волновой активности в верхней нейтральной атмосфере и ионосфере в периоды действия зимних внезапных стратосферных потеплений

Проект «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. И.В. Медведева, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

В результате анализа экспериментальных данных о вращательной температуре молекулы гидроксила и о максимуме электронной концентрации  $N_mF2$  обнаружено, что в период действия значительных ВСП в 2018 и 2019 гг. наблюдалось усиление проявления активности атмосферных волн в верхней атмосфере, однако характер этого проявления был различен. Наиболее значительные эффекты, вызванные ВСП в феврале 2018 г., заключались в увеличении межсуточной атмосферной и ионосферной изменчивости: температуры мезопаузы до  $\sim 500\%$  и среднедневных возмущений  $N_mF2$  до  $\sim 70\%$  по сравнению со сред-

ними сезонными значениями (рис. 2.2.4.3.1). В отличие от ВСП 2018 г., в январе 2019 г. наибольшие эффекты ВСП в области мезопаузы проявлялись как увеличение внутрисуточной температурной изменчивости: в диапазоне приливов до 400 %, в диапазоне внутренних гравитационных волн до 250 % по сравнению со средними сезонными значениями. В F2-области ионосферы наблюдалась интенсификация межсуточной изменчивости максимума электронной концентрации, которая может быть обусловлена влиянием планетарных волн.

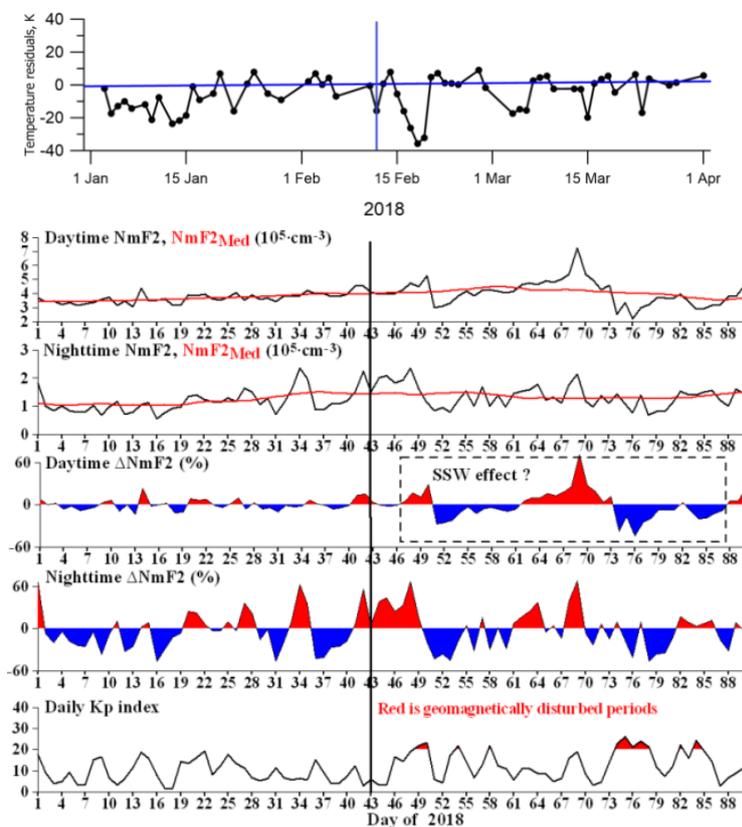


Рис. 2.2.4.3.1. Верхняя панель — межсуточная изменчивость температуры мезопаузы вследствие влияния планетарных волн. Нижняя панель — динамика среднедневных и средненочных значений  $N_mF2$ , наложенных на их медианы; то же для возмущений  $N_mF2$  (дни года 1–90, январь–март); вариации геомагнитной активности. Линией отмечена дата реверса среднезонального ветра

**Публикация:**

Medvedeva I., Ratovsky K. Studying atmospheric and ionospheric variabilities associated with sudden stratospheric warmings // Proc. SPIE. 2020. Vol. 11560, 115608M. DOI: 10.1117/12.2575552.

**2.2.4.4. Исследование мезомасштабных вариаций характеристик излучения гидроксила по данным долговременных спектрометрических наблюдений на геофизических станциях Торы ИСЗФ СО РАН и Звенигород ИФА РАН**

Проект «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — к.ф.-м.н. И.В. Медведева.

Получены среднемесячные значения и стандартные отклонения мезомасштабных возмущений характеристик эмиссии гидроксила с периодами 0.8–11 ч, которые могут отражать интенсивность внутренних гравитационных волн (ВГВ) в области мезопаузы. Для выделения мезомасштабных вариаций использована численная фильтрация путем вычисления разностей между измеренными значениями вращательной температуры ОН, разделенными интервалами продолжительностью от 0.5 до 2 ч. Используя поляризационные

соотношения для ВГВ, можно получить формулы для оценки удельной потенциальной волновой энергии и дисперсии возмущений горизонтальной скорости по измеренным значениям температуры. Рисунок 2.2.4.4.1 показывает сезонные вариации среднемесячных значений абсолютной температуры и ее мезомасштабных дисперсий, а также характеристик ВГВ, которые получены усреднением месячных значений по всем годам измерений для обеих станций. Установлено, что среднемесячные стандартные отклонения мезомасштабных вариаций вращательной температуры молекулы гидроксила по данным ст. Торы превышают значения, полученные по данным ст. Звенигород. Причинами различий могут быть различия в интенсивности тропосферных источников ВГВ, влияние различной орOGRAPHии, а также различия в скоростях и конфигурациях струйных течений в атмосфере.

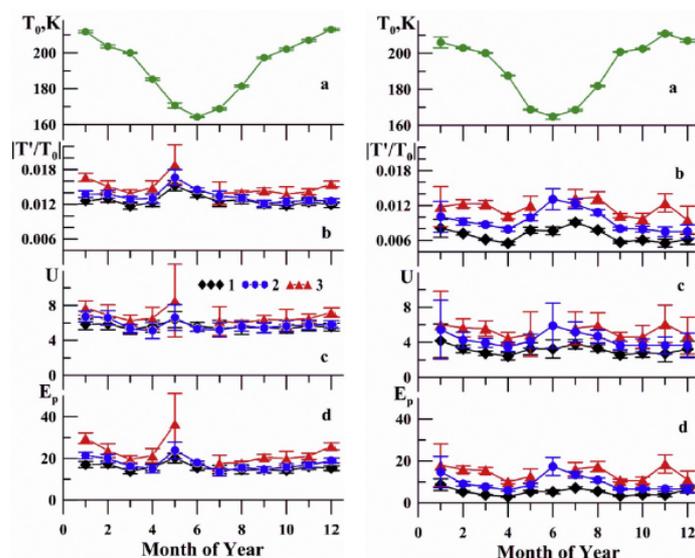


Рис. 2.2.4.4.1. Сезонные вариации средней температуры (а), относительные стандартные отклонения разностей температур (b), стандартные отклонения возмущений горизонтальной скорости  $U$  [м/с] (с) и удельной потенциальной энергии мезомасштабных возмущений  $E_p$  [Дж/кг] (d) по данным, полученным в обсерваториях Торы (слева) и Звенигород (справа). Линии 1, 2 и 3 соответствуют фильтрам (1) с  $\Delta t = 0.5$  ч,  $\Delta t = 1$  ч и  $\Delta t = 2$  ч

#### Публикация:

Popov A.A., Gavrillov N.M., Perminov V.I., Pertsev N.N., Medvedeva I.V. Multi-year observations of mesoscale variances of hydroxyl nightglow near the mesopause at Tory and Zvenigorod // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2020. Vol. 205, 105311. DOI: 10.1016/j.jastp. 2020.105311.

#### 2.2.4.5. Исследование оптических и ионосферных эффектов от полетов космических объектов на высотах мезосферы — нижней термосферы

Проект «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли», руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.В. Михалёв, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий.

Проведено исследование результатов оптических наблюдений, полученных в ходе экспериментов Радар–Прогресс по изучению эффектов (появление обширных слабо светящихся областей и снижение концентрации плазмы), возникающих при выбросе продуктов сгорания топлива из двигателей космических аппаратов в верхнюю атмосферу Земли. Анализ результатов контролируемых экспериментов по инъекции «плазмогасящих» составов в ионосферу на орбитальных высотах позволяет допустить наблюдаемое усиление интенсивности эмиссии атомарного кислорода [OI] 630.0 нм в экспериментах Радар–Прогресс как следствие химической модификации ионосферы (рис. 2.2.4.5.1). Рассмотрен вклад различных компонентов инжектируемого вещества ( $H_2$ , OH,  $H_2O$ , CO и  $CO_2$ ) в усиление интенсивности свечения атомарного кислорода [OI] на длине волны 630.0 нм и в

изменение концентрации заряженной компоненты верхней атмосферы. Показано, что изменения интенсивности свечения и концентрации заряженной компоненты обусловлены разными химическими реакциями. Наибольший вклад в увеличение интенсивности свечения вносит инжекция в атмосферу водорода и углекислого газа, а уменьшение концентрации частиц плазмы преимущественно обусловлено инжекцией паров воды. Установлено, что характерные пространственно-временные масштабы возникающих в верхней атмосфере светящихся областей таковы, что их можно регистрировать при помощи современной спектрофотометрической аппаратуры с поверхности Земли без использования дополнительных сведений о моменте включения двигателей космических аппаратов.

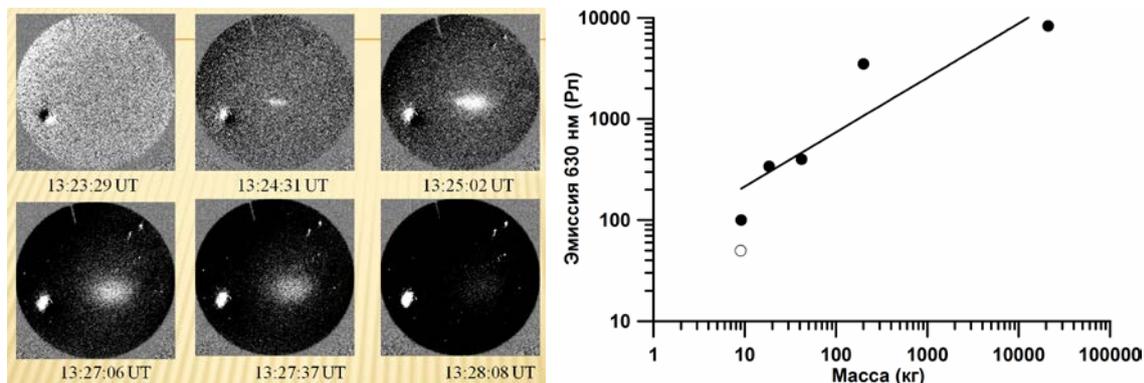


Рис. 2.2.4.5.1. Оптические эффекты в эмиссии 630.0 нм, наблюдаемые в экспериментах Радар–Прогресс (слева). Сопоставление полной инжектируемой массы с увеличением интенсивности эмиссии 630 нм (справа). Темные окружности и сплошная линия (интерполяция) — полная масса (пять экспериментов RED AIR 1, RED AIR 2, проект BIME и КА Atlas–Kentavre и Титан IV В-30). Светлая окружность — эксперименты Радар–Прогресс

#### Публикация:

Михалёв А.В., Васильев Р.В., Белецкий А.Б. Эффекты кратковременного увеличения интенсивности излучения атомарного кислорода [O I] 630.0 нм на высотах нижней термосферы, обусловленные техногенной деятельностью // Геомагнетизм и аэрономия. 2020. Т. 60, № 1. С. 116–125. DOI: 10.31857/S0016794020010101.

#### 2.2.4.6. Исследование особенностей реакции ионосферы на метеорологические и геомагнитные возмущения в различных долготных секторах Евразийского континента

Проект «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли», руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская, к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынёв, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев)

Проанализированы долготно-временные вариации параметров средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария во время двух самых сильных магнитных бурь 24-го цикла солнечной активности — в марте и июне 2015 г. Регистрируемые ионосферные эффекты имеют выраженную долготную неоднородность, связанную с наличием долготных особенностей фоновой структуры и вариаций геомагнитного поля (рис. 2.2.4.6). На основе пространственно-временного распределения вертикального полного электронного содержания подтверждены высказанные ранее предположения о возможном формировании над Канадой зоны интенсивных отрицательных ионосферных возмущений в периоды магнитных бурь. Комплексный подход к исследованию вариаций параметров ионосферы средних и высоких широт Северного полушария позволил установить, что глобальные ионосферные эффекты в периоды развития магнитных бурь характеризуются долготными вариациями, которые могут быть связаны с наличием особенностей фоновой структуры и вариаций геомагнитного поля, а также с крупномасштабными динамическими процессами в нейтральной термосфере в периоды бурь (Рис. 2.2.4.6.1).

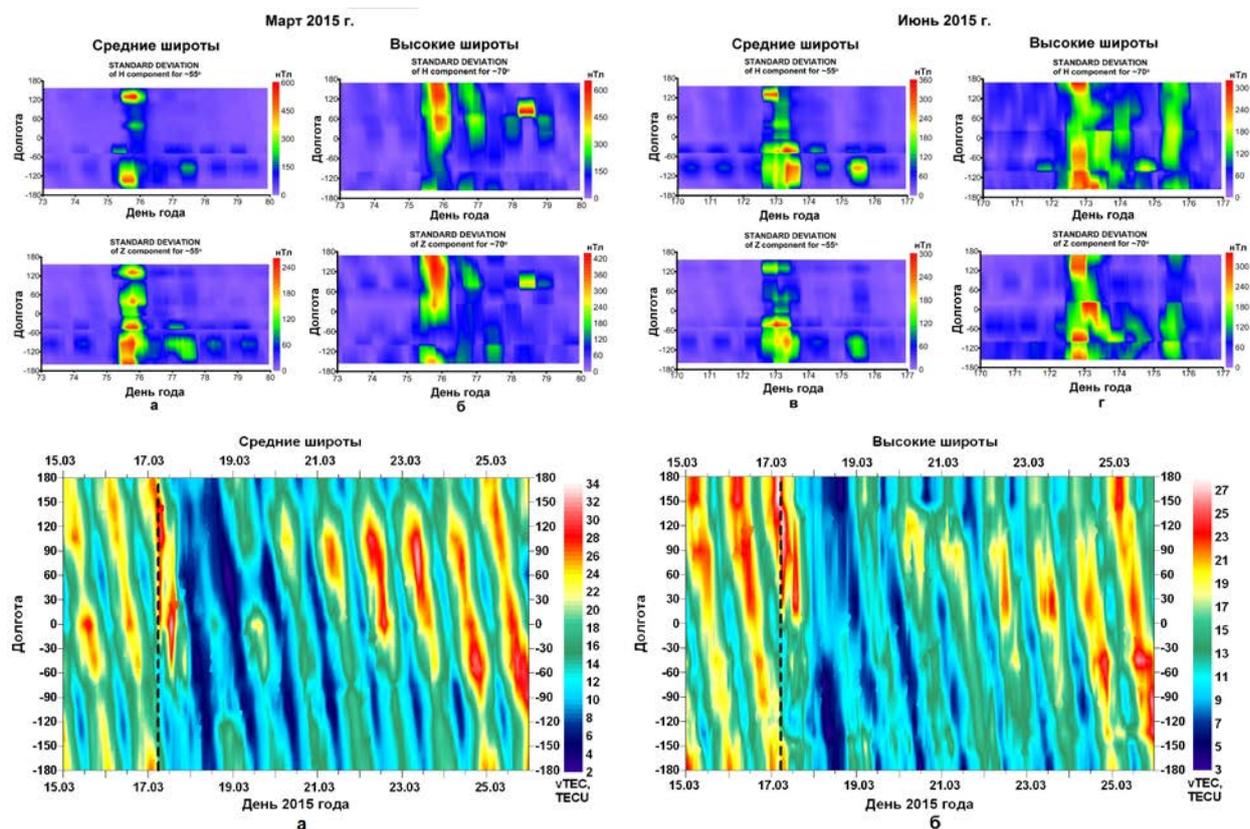


Рис. 2.2.4.6.1. Вверху: долготно-временные вариации дисперсий H- и Z-компонент ГМП для магнитной бури 15–21 марта 2015 г. на широтах  $\sim 55^\circ$  с.ш. (а) и  $\sim 70^\circ$  с.ш. (б); для магнитной бури 20–26 июня 2015 г. на широтах  $\sim 55^\circ$  с.ш. (в) и  $\sim 70^\circ$  с.ш. (г) (время UT) по данным средне- и высокоширотной цепей магнитометров глобальной сети INTERMAGNET. Внизу: долготно-временные вариации ПЭС по данным среднеширотной (а) и высокоширотной (б) цепей приемников GPS/ГЛОНАСС (б) в период бури 15–25 марта 2015 г. (время UT). Вертикальные штриховые линии отмечают внезапное начало бури (SSC)

### Публикация:

Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Yasyukevich A.S., Khabituev D.S., Ratovsky K.G., Belinskaya A.Yu., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Grigorieva S.A., Panchenko V.A., Kouba D., Mielich J. Longitudinal variations of geomagnetic and ionospheric parameters in the Northern Hemisphere during magnetic storms according to multi-instrument observations // Adv. Space Res. 2020. Vol. 67, iss. 2. P. 762–776. DOI: 10.1016/j.asr.2020.10.028.

### 2.2.4.7. Определение двойных начал взрывной фазы суббури по короткопериодным всплесковым пульсациям

Проект «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.В. Мишин, к.ф.-м.н. Ю.Ю. Клибанова, к.ф.-м.н. Б. Цэгмед, к.ф.-м.н. М.А. Курикалова.

Для таймирования начал взрывной фазы (ВФ) принято использовать импульсы длиннопериодных пульсаций Pi2, которые регистрируются на большинстве магнитометров. Однако их длительность составляет несколько минут, что сравнимо с промежутком двойного начала ВФ — явления, обнаруженного 30 лет назад В.М. Мишиными с коллегами. По данным 10 Гц геомагнитных наблюдений среднеширотных обсерваторий Монды и Борок, а также оптических наблюдений среднеширотных свечений в зеленой линии (типа полярных сияний) на ст. Торы и техники инверсии 1 мин магнитограмм ИСЗФ СО РАН магнитографов исследованы цуги всплесковых пульсаций во время начал ВФ. По данным,

полученным во время сильной бури 06.04.2000, когда зона продольных токов и свечений в зеленой линии достигла широты Иркутска, показано, что длительность короткопериодной части цуга пульсаций PiB–Pi1B составляет менее 30 с, что намного короче длительности длиннопериодной части Pi2/Pi3, и это позволяет разделить моменты наблюдаемого в начале бури двойного начала ВФ (рис. 2.2.4.7.1).

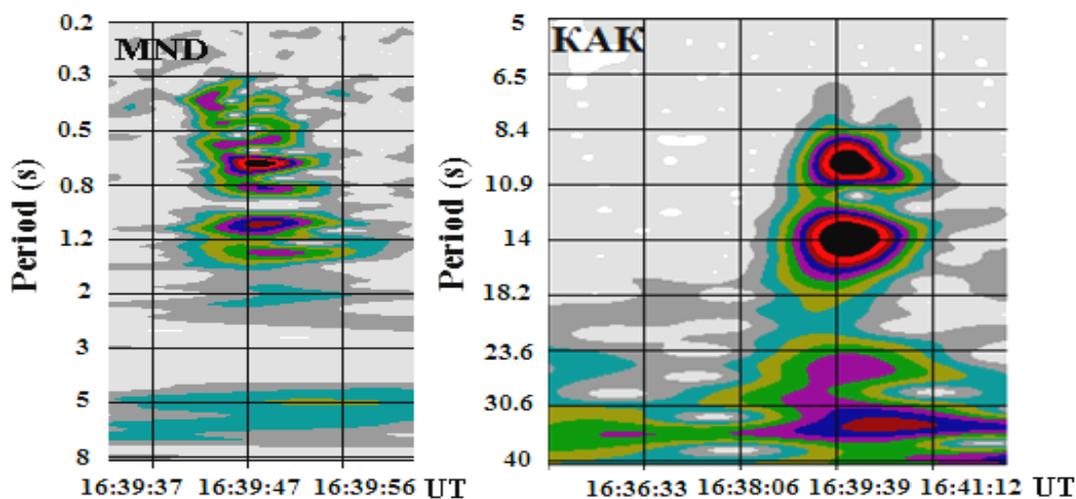


Рис. 2.2.4.7.1. Длительность пульсаций Pi1B при записи магнитографами с частотным разрешением 10 Гц (<20 с, Монды) и стандартным 1 Гц (~3 мин, Какиока). Длительность цуга Pi2 еще больше (~10 мин, что больше интервала двойного начала (5 мин), не показано)

#### Публикация:

Mishin V.V., Tsegmed B., Klivanova Y.Y., Kurikalova M.A. Burst geomagnetic pulsations as indicators of substorm expansion onsets during storms // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2020. Vol. 125, iss. 10, e2020JA028521. DOI: 10.1029/2020JA028521.

#### 2.2.4.8. Моделирование процесса переноса тепла в ионосфере и плазмосфере

Проект «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли», руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — д.ф.-м.н. А.В. Тащилин.

Во внешней ионосфере и плазмосфере классические выражения для коэффициентов теплопроводности (КТ) заряженных частиц становятся непригодными в результате быстрого уменьшения частот столкновений между электронами и ионами, т.е. околоземная плазма становится сильно разреженной. Это приводит к значительному увеличению рассчитываемых потоков тепла в случае использования классических выражений для КТ и заниженным значениям температур. На основе численной модели ионосферно-плазмосферного взаимодействия проведено исследование особенностей распределения температур ионов и электронов в ионосфере и плазмосфере, обусловленных модификацией классических коэффициентов теплопроводности в областях сильно разреженной плазмы. На рисунке представлены дневные и ночные высотные профили температур электронов и ионов, рассчитанные с использованием классических и модифицированных коэффициентов теплопроводности (рис. 2.2.4.8.1).

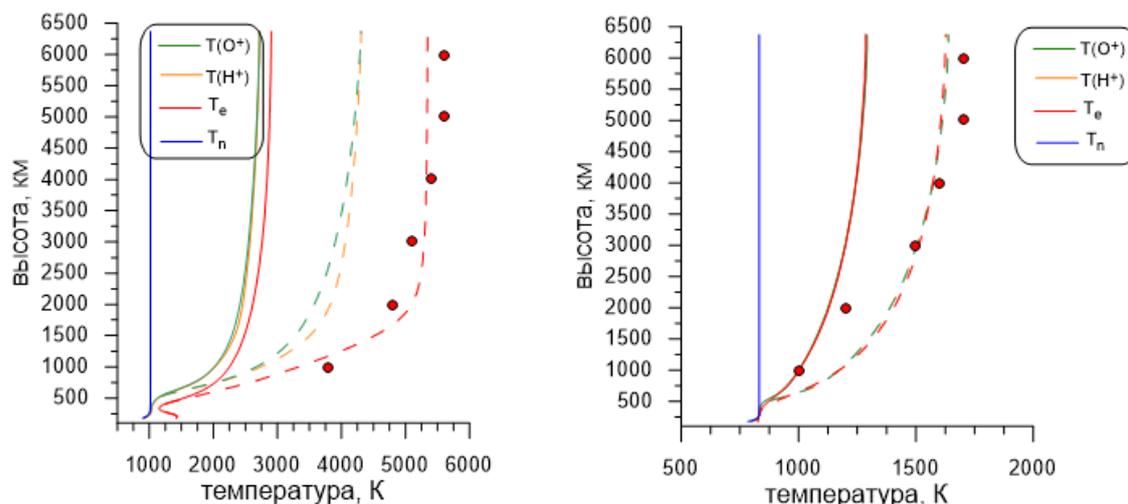


Рис. 2.2.4.8.1. Дневные (слева) и ночные (справа) высотные профили температур электронов и ионов: сплошные линии — расчеты с классическими КТ; штриховые линии — с модифицированными КТ; красные кружки — измерения

Показано, что в наибольшей степени модификация коэффициентов теплопроводности влияет на электронную температуру, тогда как температуры ионов слабо зависят от способа задания коэффициента теплопроводности. Использование модифицированного коэффициента электронной теплопроводности позволило воспроизвести в модельных расчетах высокие значения электронной температуры, сравнимые с данными спутниковых наблюдений.

#### Публикация:

Tashchilin A.V. Modeling of heat transfer in the ionosphere and plasmasphere // Proc. SPIE. 2020. Vol. 11560, 115608I. DOI: 10.1117/12.2575524.

#### 2.2.4.9. Влияние стратосферных потеплений на образование спорадических слоев над Азиатским регионом России

Проект «Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. Н.М. Полех, к.ф.-м.н. Н.А. Золотухина.

С использованием данных наклонного зондирования (с интервалами зондирования 4, 5 и 15 мин) на трассах Норильск–Иркутск, Магадан–Иркутск и Хабаровск–Иркутск во время стратосферных потеплений (СП) в течение декабря–февраля с 2009 по 2013 г., а также данных о температуре во время СП рассчитаны общая вероятность появления мода 2Es для каждого дня (P1) как отношение числа регистраций этого мода к общему числу сеансов зондирования в сутки и вероятность появления наиболее значимых значений мода 2Es (P2), максимальные наблюдаемые частоты которых превышали величину, равную 0.7 от значений односкачкового мода за счет отражения от F2-слоя (1F2). На рис. 2.2.4.9.1 представлены вероятности распространения КВ-радиосигнала модом 2Es в январе 2010 г. и в январе 2013 г. на трех трассах.

Установлено, что во время СП в годы низкой солнечной активности увеличивается вероятность распространения КВ-радиосигналов в дни максимального увеличения температуры в стратосфере практически в течение всех суток. В годы высокой солнечной активности вероятность появления отражений КВ-радиосигналов от спорадических слоев возрастает в основном вечерние и ночные часы.

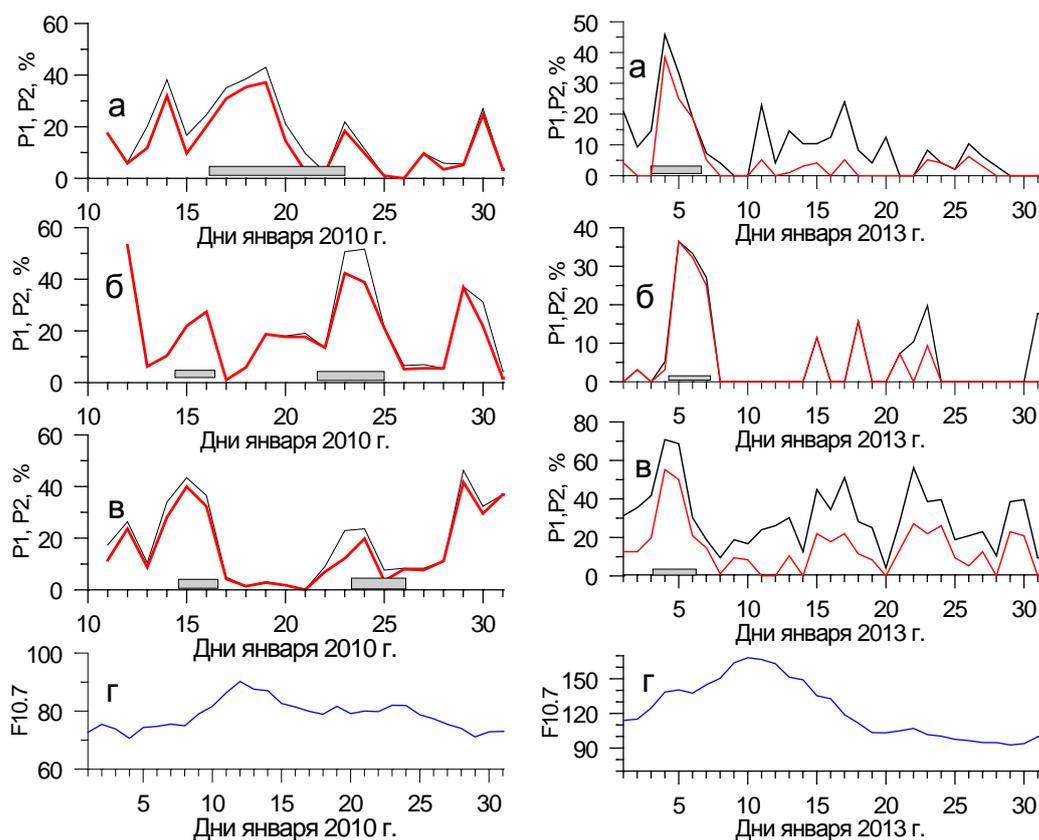


Рис. 2.2.4.9.1. Вариации индекса солнечной активности ( $\gamma$ ) и вероятности распространения КВ-радиосигнала с помощью мода 2Es на трассах Норильск–Иркутск (а), Магадан–Иркутск (б) и Хабаровск–Иркутск (в) для 2010 г. (слева) и 2013 г. (справа): черная и красная линии — P1 и P2 соответственно; заштрихованные области обозначают даты наибольшего роста температуры в стратосфере вблизи трасс

#### Публикация:

Kurkin V.I., Polekh N.M., Zolotukhina N.A. Influence of stratospheric warmings on formation of sporadic layers over the Asian region of Russia // Proc. SPIE. 2020. Vol. 11560, 115608A. DOI: 10.1117/12.2575438.

### 2.2.5. Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве

#### 2.2.5.1. Поперечный резонатор для ионно-ионных гибридных волн в дипольной магнитосферной плазме

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — к.ф.-м.н. О.С. Михайлова, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Аналитически исследована поперечная структура ионно-ионных гибридных волн в дипольной магнитосферной плазме, обогащенной тяжелыми ионами и неоднородной как поперек магнитных оболочек, так и вдоль силовых линий. Обнаружено, что волны могут быть заперты в поперечном резонаторе между двумя поверхностями отражения. Энергия волны в резонаторе сконцентрирована вблизи геомагнитного экватора и может распространяться в азимутальном направлении. Существование поперечного резонатора следует из разницы между частотами осцилляций силовых линий в радиальном и азимутальном направлениях (полоидальная и тороидальная собственные частоты), а также обусловлено кривизной силовых линий. Резонатор может быть локализован на плазмопаузе, где альф-

веновская скорость имеет минимум, и вблизи локального минимума концентрации тяжелых ионов. Поперечная ширина резонатора, по оценкам, составляет около  $0.3R_E$ , а частота волны около 0.3 Гц, что соответствует параметрам волн Pc1, наблюдаемым в земной магнитосфере (рис. 2.2.5.1.1).

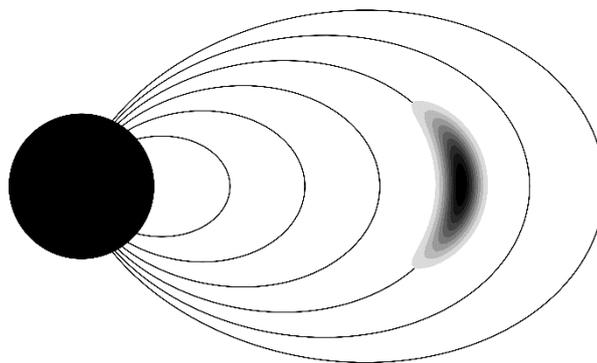


Рис. 2.2.5.1.1. Амплитудное распределение основной гармоники полоидальной ионно-ионной гибридной моды в поперечном резонаторе.

**Публикация:**

Mikhailova O.S., Mager P.N., Klimushkin D.Yu. Transverse resonator for ion-ion hybrid waves in dipole magnetospheric plasma // Plasma Physics and Controlled Fusion. 2020. Vol. 62, no. 9, 095008. DOI: 10.1088/1361-6587/ab9be9.

**2.2.5.2. Численное N-body-моделирование гравитационной конусной неустойчивости в окрестности черной дыры в центре сферических галактик**

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. И.Г. Шухман.

Впервые получено подтверждение возможности так называемой гравитационной конусной неустойчивости (gravitational loss-cone instability) на основе прямого численного моделирования с огромным количеством (до 1 000 000) гравитационно-взаимодействующих частиц, предсказанной теоретически в 2007 г. в работах Поляченко и Шухмана. Было показано, что такая неустойчивость, аналогичная известной конусной неустойчивости в плазменных пробкотронах, реализуется при условии положительной производной функции распределения (ФР) звезд по угловому моменту  $L$  в области малых угловых моментов звезд. Малые  $L$  соответствуют почти радиальным орбитам, близко проходящим вблизи центра галактики, содержащей черную дыру (рис. 2.2.5.2.1). Такое поведение ФР естественно ожидать благодаря поглощению звезд с почти радиальными орбитами черной дырой и, как следствие, дефициту звезд с малыми  $L$  (аналог дефицита частиц в пробкотроне, попавших в конус потерь). Еще одним необходимым условием неустойчивости является ретроградность прецессии звездной орбиты — прецессии орбиты в сторону, противоположную вращению звезды по орбите. Такое условие оказывается всегда выполненным, если в системе доминирует кеплеровский потенциал, создаваемый черной дырой ( $\Phi = -MG/r$ ), а прецессия орбиты создается лишь за счет небольшого отличия потенциала от кеплеровского, индуцированного самой звездной системой.

В проведенных численных N-body-симуляциях удалось показать, что на линейной стадии рост возмущений в точности соответствует предсказаниями теории, а именно, инкремент и частота возмущений, наблюдаемые в симуляциях, совпадают с вычисленными в теории для некоторых конкретных ФР, причем неустойчивость имеет место, только начиная с октупольной гармоники ( $l = 3$ ), как это и предсказывает теория. Неустойчивость приводит

к повышенной диффузии звезд в пространстве энергий и угловых моментов, которая представляет новый, коллективный механизм подпитки массы черной дыры, альтернативный общепринятому механизму аккреции за счет обычной кулоновской релаксации (парных столкновений звезд). Неустойчивость в численном эксперименте стабилизируется на довольно низком уровне, однако в работе обсуждаются возможные изменения в постановке эксперимента, необходимые для возникновения более высокого уровня насыщения и, следовательно, более интенсивной коллективной диффузии.

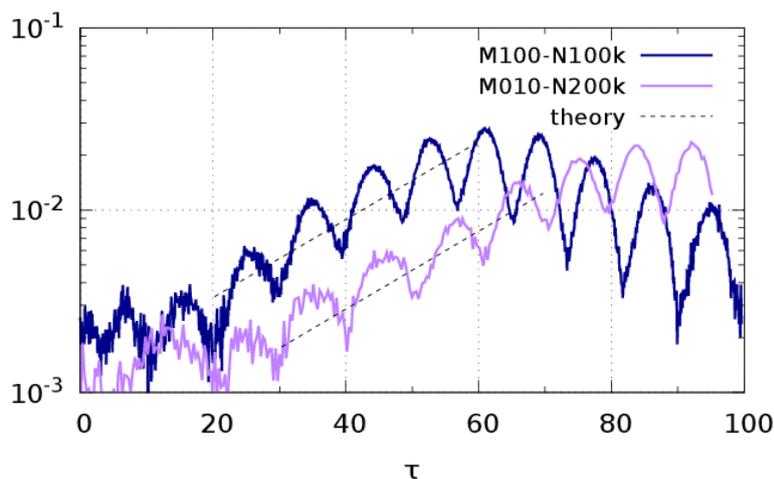


Рис. 2.2.5.2.1. Рост амплитуды октупольной ( $l=3$ ) гармоники для двух случаев: *a* — масса черной дыры превышает в 100 раз массу звездной системы вокруг нее,  $M=100$  (число частиц  $N=100\,000$ ), *b* —  $M=10$ ,  $N=200\,000$ . Штриховая линия соответствует теоретическому росту для выбранной модели ФР

#### Публикации:

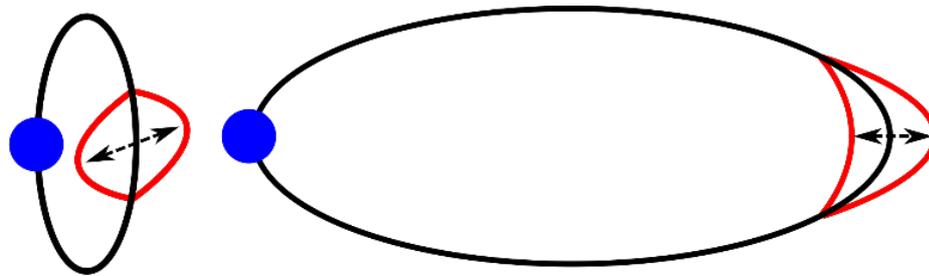
Polyachenko E.V., Just A., Berczik P., Shukhman I.G. Simulation of the loss-cone instability in spherical systems. I. Dominating harmonic potential // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 2020. Vol. 492, iss. 1. P. 645–650. DOI: [10.1093/mnras/stz3544](https://doi.org/10.1093/mnras/stz3544).

Polyachenko E.V., Just A., Berczik P., Shukhman I.G. Simulation of the loss-cone instability in spherical systems. II. Dominating Keplerian potential // *Mont. Not. Roy. Astron. Soc.* 2020. Vol. 492, iss. 4. P. 4819–4824. DOI: [10.1093/mnras/staa141](https://doi.org/10.1093/mnras/staa141).

#### 2.2.5.3. Две моды ионно-ионных гибридных волн в магнитосферной плазме

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.С. Михайлова, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Исследована структура ионно-ионных гибридных (ИИГ) волн в дипольном магнитном поле с учетом многокомпонентного состава плазмы. Подобно альфвеновским волнам, магнитное поле в присутствии ИИГ-волн может осциллировать в радиальном (полоидальные моды) и азимутальном (тороидальные моды) направлениях. Однако, в отличие от альфвеновских волн, осциллирует только узкая экваториальная часть силовой линии, поскольку из-за наличия в плазме примеси тяжелых ионов ИИГ-волны заперты в резонаторе в окрестности геомагнитного экватора. Экваториальная локализация позволяет аналитически вычислить продольную структуру тороидальной и полоидальной ИИГ-мод. Обнаружено, что тороидальная и полоидальная моды имеют слегка различающиеся структуры и различные частоты. Разница между тороидальной и полоидальной частотами (поляризационное расщепление) мала по сравнению с частотой основной гармоники каждой из мод. Найдено, что ИИГ-моды имеют значительную компрессионную компоненту магнитного поля (рис. 2.2.5.3.1).



Toroidal

Poloidal

Рис. 2.2.5.3.1. Схематичное изображение тороидальной и полоидальной ИИГ-мод

**Публикация:**

Mikhailova O.S., Mager P.N., Klimushkin D.Yu. Two modes of ion-ion hybrid waves in the magnetospheric plasma // Plasma Physics and Controlled Fusion. 2020. Vol. 62, no. 2, 025026. DOI: 10.1088/1361-6587/ab5b32.

**2.2.5.4. Регистрация УНЧ-волн с помощью Екатеринбургского радара когерентного рассеяния: статистический анализ**

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Челпанов, О.В. Магер, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Приведены основные результаты исследований ультранизкочастотных (УНЧ) волн с помощью Екатеринбургского среднеширотного радара когерентного рассеяния. В большинстве случаев частоты УНЧ-волн, наблюдающихся в ночной ионосфере, существенно ниже частот альфвеновского резонанса силовых линий на соответствующих магнитных оболочках (альфвеновская частота для каждого случая определялась по спутниковым данным). Это показывает, что эти волны не следует связывать с альфвеновской модой. Как минимум часть из них представляют дрейфово-компрессионную моду, поскольку в отдельных случаях были выявлены признаки, свойственные этой моде: для одного случая была обнаружена линейная зависимость частоты волны от азимутального волнового числа. Показаны случаи сцепления дрейфово-компрессионной и альфвеновских мод (рис. 2.2.5.4.1).

Кроме того, представлен случай одновременного наблюдения волны в радарных и спутниковых данных. Регистрация волны сопровождалась увеличением потока энергичных частиц, который имел колебания с частотой наблюдаемой волны.

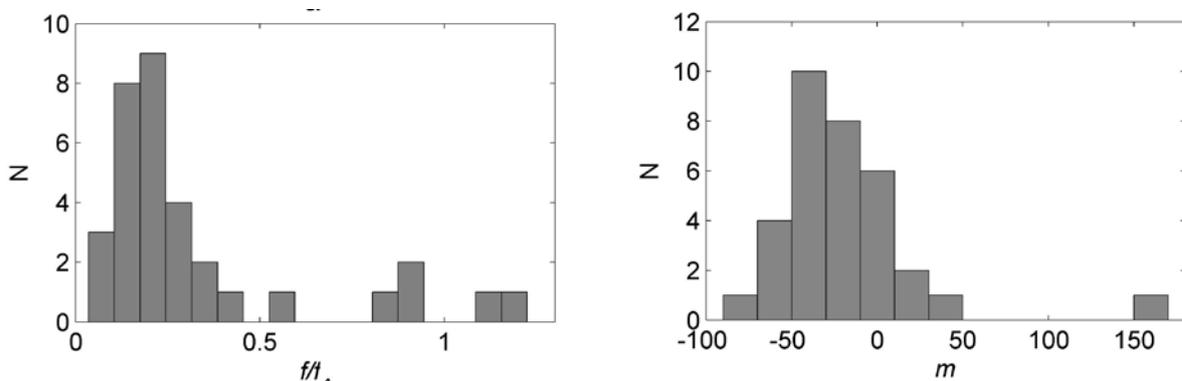


Рис. 2.2.5.4.1. Распределение частот колебательных гармоник по отношению  $f/f_A$  для 16 случаев наблюдений, где  $f$  – частота колебания, наблюдаемого на радаре, а  $f_A$  – соответствующая альфвеновская частота, оцененная по данным спутника с использованием дипольной модели геомагнитного поля и степенного закона распределения частиц вдоль силовых линий (слева); распределение колебаний по величине азимутального волнового числа  $m$  (справа)

**Публикация:**

Chelpanov M.A., Mager O.V., Mager P.N., Klimushkin D.Yu. ULF waves registered with the Ekaterinburg radar: Statistical analysis and case studies // EGU General Assembly Conference Abstracts. 2020. 6901. DOI: 10.5194/egusphere-egu2020-6901.

**2.2.5.5. Метод оценки электронной концентрации в слое F2 ионосферы без радиозондирования**

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.С. Потапов, Т.Н. Полюшкина.

Предложен практический метод оценки электронной концентрации в слое F2 ионосферы на основе множественного регрессионного анализа набора предикторов, основным из которых служит частотный масштаб излучения ионосферного альфвеновского резонатора (ИАР), т. е. расстояние между его соседними гармониками. Резонансные частоты ИАР зависят в первую очередь от концентрации электронов  $N_e$  в ионосфере, поскольку в первом приближении определяются временем пробега альфвеновской волны между границами резонатора. Другими предикторами являются величины  $f_oF2$  и минимума альфвеновской скорости, прогнозируемые по модели IRI-2012, местное время, сезон и индекс авроральной активности  $AE$ . Коэффициенты множественной регрессии были вычислены на обучающей выборке длиной около 100 часовых значений и протестированы на контрольной выборке, включающей 45 часовых измерений. Результаты показывают, что предложенный метод оценки электронной плотности с использованием многофакторного анализа дает среднеквадратичную ошибку в 1.65 раза меньшую по сравнению с ошибкой оценки на основе модели IRI-2012 без привлечения данных о частоте ИАР: 3100 против 5100  $\text{см}^{-3}$  при типичном диапазоне электронной концентрации в области F2  $10^5$ – $10^6$   $\text{см}^{-3}$ .

**Публикация:**

Potapov A.S., Polyushkina T.N. Estimation of the ionosphere critical frequency without radio sounding // IEEE Trans.on Geosci. and Remote Sensing. 2020. Vol. 58, iss. 7. P. 5058–5065. DOI: 10.1109/TGRS.2020.2972011.

**2.2.5.6. Дискретные частотно-диспергированные сигналы в полярных шапках**

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

В полярных шапках наблюдаются дискретные частотно-диспергированные сигналы (ДС) типа P<sub>i</sub>1, имеющие наклонный динамический спектр. Вид спектра говорит о том, что сигналы возбуждаются импульсными процессами, а затем, по мере своего распространения, испытывают частотную дисперсию. Мы не касались вопроса о происхождении этих дискретных сигналов, но впервые рассмотрели некоторые их морфологические особенности. Использовались данные, записанные на ст. «Восток» в 1968–1972 гг. Неожиданным оказался суточный ход вероятности появления ДС (рис. 2.2.5.6.1): он зависит не от географического, а от магнитного местного времени (MLT), причем имеет четко выраженный максимум, падающий на полдень по MLT, который отличается от астрономического полудня на 8 ч. Это говорит о том, что на частоту появления ДС влияют не местные условия (освещенность, состояние ионосферы и т.д.), а положение магнитной силовой линии, проходящей через станцию, относительно полуденного меридиана.

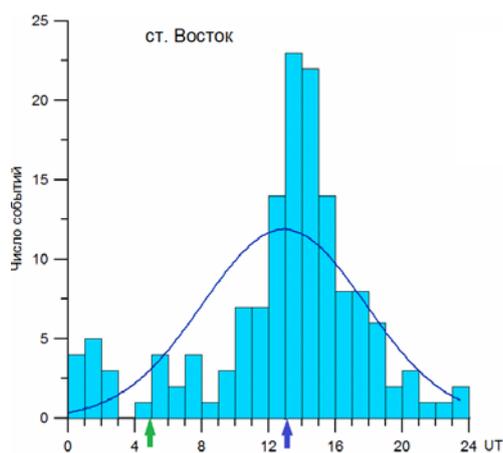


Рис. 2.2.5.6.1. Суточный ход частоты появления дискретных сигналов на ст. «Восток»: сплошная синяя линия — гаусс-аппроксимация распределения; синей стрелкой указан полдень по геомагнитному (MLT), а зеленой — по местному (LT) времени

### Публикации:

Potapov A.S., Guglielmi A.V., Dovbnya B.V. Ultra low frequency emissions ranging from 0.1 to 3 Hz in the circumpolar areas // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, iss. 3. P. 40–45. DOI: 10.12737/stp-63202006.

Потапов А.С., Гульельми А.В., Довбня Б.В. Ультранизкочастотные эмиссии диапазона 0.1–3 Гц в приполярных областях // Пятнадцатая конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». ИКИ РАН, Москва, 10–14 февраля 2020. Тезисы докладов. С. 270.

### 2.2.5.7. Обоснованность нелинейной бессиловой реконструкции поля методом оптимизации

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — к.ф.-м.н. И.С. Дмитриенко.

Исследованы причины неработоспособности ключевых методик экстраполяции коронального поля для расчета энергии эруптивных процессов на Солнце как свободной энергии активной области. Обоснована необходимость увеличения на порядок количества итераций алгоритма бессиловой экстраполяции на основе метода оптимизации, а также разработана процедура, удаляющая искусственно приобретаемую при такой методике несоленоидальность. В результате применения новой модифицированной методики экстраполяции удалось впервые получить соответствующую теории оценку потери свободной энергии для вспышки X-класса (рис. 2.2.5.7.1).

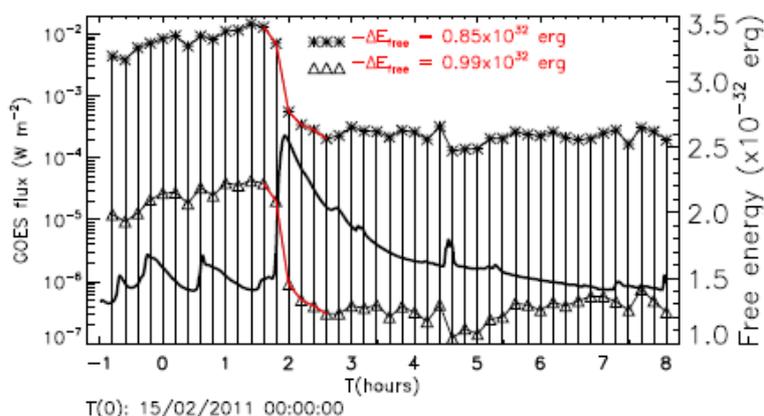


Рис. 2.2.5.7.1. Событие X-класса 15 февраля 2011 г.: сплошная кривая — данные GOES; треугольники — свободная энергия без удаления несоленоидальности; звездочки — свободная энергия с удалением несоленоидальности

**Публикация:**

Rudenko G.V., Dmitrienko I.S. Validity of nonlinear force-free field optimization reconstruction // Solar Phys. 2020. Vol. 295, iss. 6, article id. 85. DOI:10.1007/s11207-020-01647-7.

**2.2.5.8. Ускорение ионов во фронте нелинейных вистлеров**

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. Г.Н. Кичигин.

Решена задача об ускорении ионов (протонов), набегающих на фронт нелинейного вистлера, для которого предполагается, что структура его электромагнитных полей известна и определена соотношениями, которые получены автором ранее. Установлена зависимость энергии, до которой ускоряются протоны, от угла между направлением распространения вистлера по отношению к направлению внешнего магнитного поля и от скорости вистлера. Полученные результаты применяются для случая околоземной бесстолкновительной ударной волны (БУВ) в предположении, что фронт БУВ имеет структуру нелинейного вистлера. Показано, что протоны ускоряются во фронте околоземной БУВ до 45 кэВ и с такими энергиями оказываются перед фронтом БУВ, в области форшока. По мнению автора, эти энергичные протоны, рассеиваясь на колебаниях, существующих в форшоке, образуют перед фронтом БУВ популяцию так называемых диффузных ионов. На рис. 2.3.5.8.1 приведена построенная с учетом значений параметров плазмы и электромагнитных полей перед магнитосферой Земли зависимость от альфвеновского числа Маха  $M$  энергии протонов  $E$ , ускоренных во фронте околоземной БУВ.

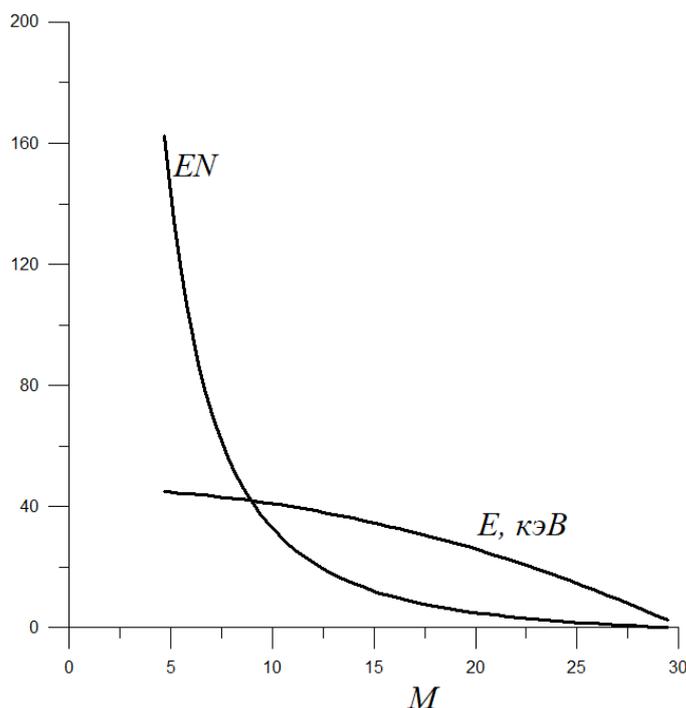


Рис. 2.2.5.8.1. Зависимость максимальной энергии протонов от альфвеновского числа Маха  $M$ :  $EN$  — энергия протонов, нормированная на энергию протонов, движущихся со скоростью волны;  $E$  — энергия протонов в форшоке околоземной БУВ

**Публикация:**

Kichigin G.N. Ion acceleration at the front of nonlinear whistlers // Astron. Letts. 2020. Vol. 46, iss. 6. P. 422–427. DOI: 10.1134/S1063773720060043.

### 2.2.5.9. Пространственная структура азимутально-мелкомасштабных МГД-волн в одномерно-неоднородной плазме конечного давления с кривыми силовыми линиями

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве. Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — А.В. Петрашук.

Изучено распространение гидромагнитных (МГД) волн в одномерно-неоднородной плазме конечного давления с кривыми силовыми линиями. Магнитные поверхности считаются концентрическими цилиндрами, где радиус цилиндра моделирует радиальную координату в магнитосфере Земли. Предполагается, что волны обладают азимутальной мелкомасштабностью. В данном приближении имеется только две МГД-моды: альфвеновская и медленный магнитный звук (ММЗ). Получено обыкновенное дифференциальное уравнение, описывающее пространственную структуру волнового поля в данной модели. Изучен характер особенностей на поверхностях альфвеновского и ММЗ-резонансов, влияние на него кривизны силовых линий. Определены области прозрачности волн. Установлено существенное расширение области прозрачности ММЗ по сравнению со случаем прямых силовых линий, а само существование альфвеновской области прозрачности обусловлено наличием кривизны силовых линий и конечного давления плазмы: в противном случае пространственная структура представляет локализованный резонанс (рис. 2.2.5.9.10).

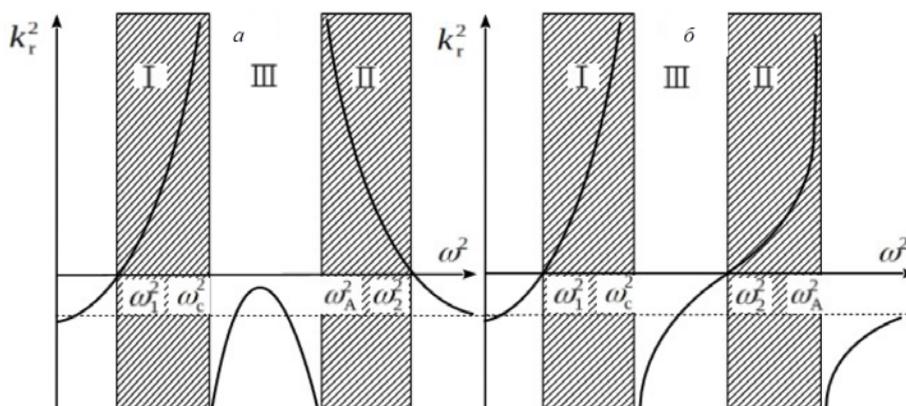


Рис. 2.2.5.9.1. Зависимость квадрата радиальной компоненты волнового вектора от квадрата частоты волны

#### Публикация:

Петрашук А.В., Климушкин Д.Ю. Пространственная структура азимутально-мелкомасштабных МГД-волн в одномерно-неоднородной плазме конечного давления с кривыми силовыми линиями // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 1. С. 63–74. DOI: 10.12737/szf-61202006.

### 2.2.5.10. Фокусировка быстрых магнитозвуковых волн в дневной магнитосфере

Проект РНФ № 18-17-00021 «Теоретическое и экспериментальное исследование долгопериодических пульсаций электромагнитного поля Земли, вызываемых процессами в магнитосфере и солнечном ветре». Руководитель — Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.С. Леонович и к.ф.-м.н. Д.А. Козлов.

Проведен расчет пространственной структуры сверхнизкочастотных быстрых магнитозвуковых (БМЗ) волн в дневной магнитосфере. Построена равновесная модель дипольной магнитосферы с плазмой, вращающейся в азимутальном направлении. Магнитопауза в рассматриваемой модели имеет вид плавного переходного слоя. Показано, что самые крупномасштабные собственные гармоники БМЗ-колебаний либо слабо неустойчивы, либо нейтрально устойчивы. Из проведенных расчетов следует, что амплитуды собствен-

ных колебаний, генерируемых на магнитопаузе потоком солнечного ветра, резко возрастают от магнитопаузы внутрь магнитосферы (см. рис. 2.2.5.10.1). Можно предположить, что дневная магнитосфера играет роль своеобразной фокусирующей линзы для сверхнизкочастотных быстрых магнитозвуковых волн. Во время усиления в магнитослое БМЗ-колебаний, которые определяют амплитуды собственных колебаний на магнитопаузе, можно ожидать существенного усиления амплитуд магнитозвуковых колебаний во внутренней магнитосфере.

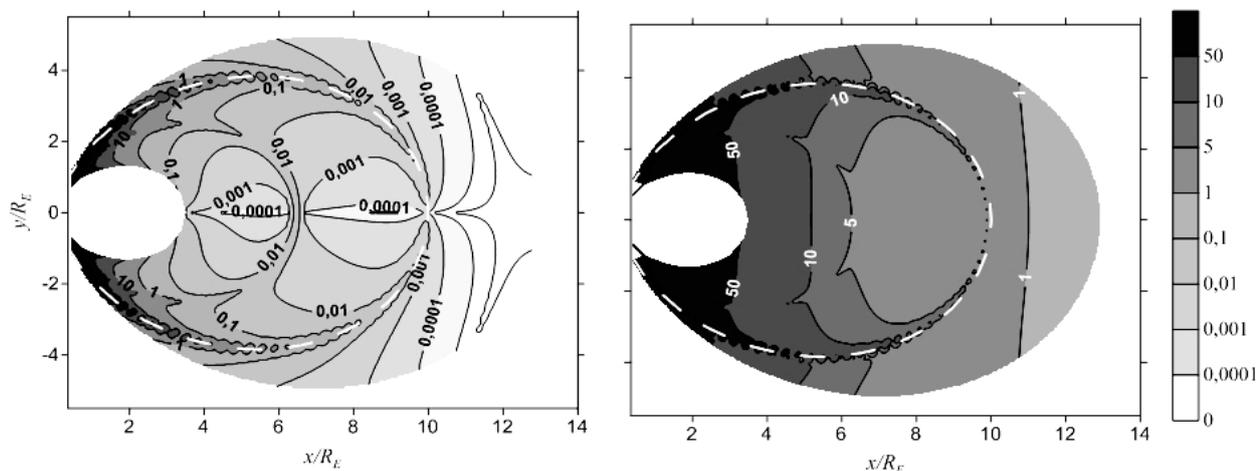


Рис. 2.2.5.10.1. Распределение в меридиональной плоскости амплитуды поперечной  $B_{\perp}$  (слева) и продольной  $B_{\parallel}$  (справа) компонент магнитного поля гармоника БМЗ-колебаний, возбуждаемой на магнитопаузе в дипольной магнитосфере азимутальным потоком солнечного ветра при скорости солнечного ветра  $v_{sw}=320$  км/с. Белой штриховой линией показана магнитопауза

#### Публикация:

Leonovich A.S., Kozlov D.A. Focusing of fast magnetosonic waves in the dayside magnetosphere // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2020. Vol. 125, e2020JA027925. DOI: 10.1029/2020JA027925.

#### 2.2.5.11. Баллонная неустойчивость в магнитосферной плазме: двумерный анализ собственных мод

Проект РНФ № 18-17-00021 «Теоретическое и экспериментальное исследование долгопериодических пульсаций электромагнитного поля Земли, вызываемых процессами в магнитосфере и солнечном ветре». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — А.В. Рубцов, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Рассмотрена поперечная структура баллонной неустойчивости в двумерно-неоднородной модели магнитосферы, которая учитывает неоднородность и поперек магнитных оболочек, и вдоль силовых линий. В соответствии с предыдущими исследованиями баллонная неустойчивость может развиваться при резком падении давления плазмы при удалении от Земли. В этой работе предполагалось, что область отрицательного градиента давления плазмы является узко локализованной поперек магнитных оболочек. Это вызывает локализацию неустойчивого возмущения в том же направлении. В такой области возмущение имеет структуру резонатора, где могут существовать только моды с дискретным набором значений скорости роста. Азимутальное волновое число должно превышать некоторое критическое значение, которое определяется шириной области локализации (рис. 2.2.5.11.1).

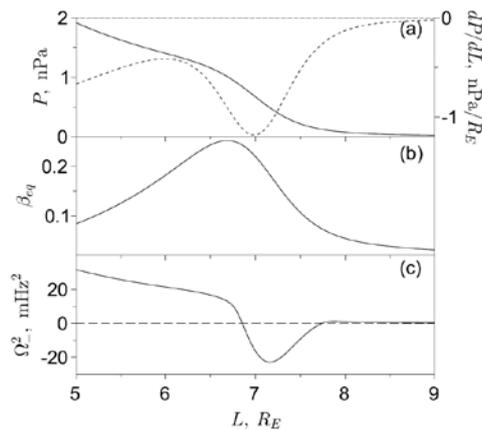


Рис. 2.2.5.11.1. Баллонная неустойчивость в диапазоне  $L$ -оболочек от  $5R_E$  до  $9R_E$  ( $L_{\text{fall}} = 7$ ):  $a$  — модель давления плазмы (сплошная кривая) и радиальный градиент давления плазмы (штриховая кривая);  $b$  — параметр  $\beta$ ;  $c$  — квадрат частоты баллонной моды  $\Omega_-^2$

### Публикация:

Rubtsov A.V., Mager P.N., Klimushkin D.Y. Ballooning instability in the magnetospheric plasma: Two-dimensional eigenmode analysis // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2020. Vol. 125, e2019JA027024. DOI: 10.1029/2019JA027024.

### 2.2.5.12. Свойства и эволюция кинетических магнитных дыр в солнечном ветре

Проект РФФИ 19-05-00574 «Исследование информационных и энергетических аспектов амплитудно-частотной модуляции УНЧ-колебаний в системе солнечно-земных связей». Руководитель — д.ф.-м.н. А.С. Потапов. Автор результата — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

Одним из источников амплитудной и частотной модуляции УНЧ-колебаний в магнитосфере является воздействие нестационарных структур солнечного ветра, набегающих на магнитосферу. В связи с этим была проанализирована эволюция так называемых магнитных дыр (МД — резкие кратковременные понижения напряженности межпланетного магнитного поля). Считается, что взаимодействуя с магнитосферой, эти турбулентные структуры могут вызывать локальные возмущения в магнитосферно-ионосферной системе. По данным космических аппаратов (КА) ACE и Wind рассмотрена статистика появления МД кинетического типа. Проведен поиск МД с 1997 по 2011 г. в 15 высокоскоростных потоках альфвеновского типа с высоким значением спиральности. Всего в 15 высокоскоростных потоках было обнаружено 207 кинетических МД длительностью от 3 до 129 с. Полученная вероятность наблюдения (0.2 в час) намного превышает среднюю частоту появления МД в фоновом ветре в окрестности эклиптики. Медианное значение глубины МД равно 1.52 нТл, максимальное — 22.5 нТл. Вероятность наблюдения МД в высокоскоростных потоках возрастает в минимуме и в начале фазы роста солнечной активности (1997–1998 и 2008–2010 гг.), достигая величины 0.32 события в час. Прослежена динамика МД в ходе их переноса солнечным ветром. Использовались односекундные данные магнитометров КА ACE и Wind во время сближения двух КА на фоне прохождения пяти высокоскоростных потоков. Изучалась эволюция МД, наблюдавшихся согласованно сначала на КА ACE, а затем, в результате их переноса потоком ветра, на КА Wind. Было отобрано 15 МД, для которых скорость переноса между спутниками отклонялась от расчетной не более чем на 15 %. Из них 9 МД относятся к линейному типу магнитных дыр, 5 МД вращательного типа, и еще одна наблюдалась на фоне хаотического поведения компонент ММП. Характер эволюции МД в ходе их переноса был разнообразен — от полного сохранения формы (рис. 2.2.5.12.1) до значительного ее изменения как в сторону углубления дыры и укручения ее фронта, так и в сторону значительного ее расплывания. В заключение обсуждается возможное модуляционное воздействие МД на волновые явления в магнитосфере и намечаются пути дальнейшего изучения эволюции магнитных дыр в солнечном ветре.

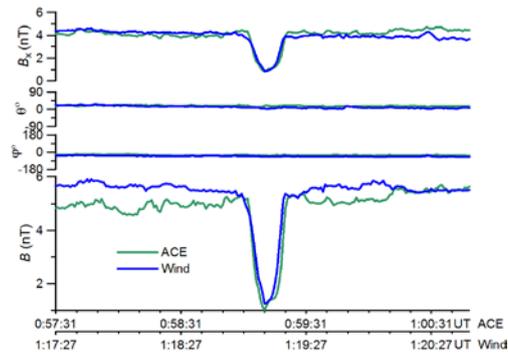


Рис. 2.2.5.12.1. Пример линейной МД, сохранившей свою форму и размер во время конвективного переноса на расстояние 670 тыс. км от окрестности точки либрации  $L1$  до местоположения КА Wind. Показаны компоненты межпланетного магнитного поля

### Публикация:

Potapov A.S. Kinetic magnetic holes in the high speed streams during solar cycle 23 // Planet. Space Sci. 2020. Vol. 192, 105066. DOI: 10.1016/j.pss.2020.105066.

### 2.2.5.13. Теоретические исследования тороидальных альфвеновских волн в дипольно-подобной магнитосфере

Проект «Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.С. Леонович и к.ф.-м.н. Д.А. Козлов.

Теоретически исследована пространственная структура и спектры стоячих альфвеновских волн в дипольно-подобной модели магнитосферы. Получены следующие результаты. Стоячие альфвеновские волны возбуждаются на замкнутых силовых линиях магнитного поля. В направлении вдоль силовых линий эти колебания имеют вид стоячих волн, а в радиальном направлении (поперек магнитных оболочек) их структура зависит от величины азимутального волнового числа  $m$ . Различают два типа стоячих альфвеновских волн: тороидальные ( $m \sim 1$ ) и полоидальные ( $m \gg 1$ ). Эти типы волн имеют разную пространственную структуру, поляризацию, а также источники их возбуждения. В качестве основного механизма генерации тороидальных альфвеновских волн рассматривается их резонанс с быстрыми магнитозвуковыми волнами, проникающими в магнитосферу из солнечного ветра (field line resonance, рис. 2.2.5.13.1). Поперечная структура тороидальных альфвеновских волн существенно зависит от уровня их диссипации в ионосфере. При слабой диссипации их радиальная структура имеет вид «кинетических» альфвеновских волн, бегущих поперек магнитных оболочек. При сильной диссипации их радиальная структура приобретает вид, типичный для резонансных колебаний, максимум амплитуды которых локализован на резонансной магнитной оболочке. Вблизи плазмопаузы происходит резкое изменение типа поперечной дисперсии тороидальных кинетических альфвеновских волн, что сопровождается сильным их затуханием из-за их резонансного взаимодействия с электронами фоновой плазмы (затухание Ландау).

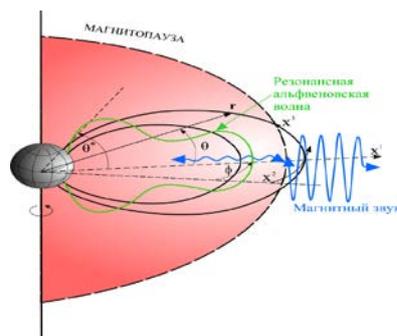


Рис. 2.2.5.13.1. Схема резонансного возбуждения тороидальной альфвеновской волны быстрой магнитозвуковой волной, проникающей в магнитосферу из солнечного ветра

### Публикация:

Leonovich A.S., Kozlov D.A. Theoretical Studies of Standing Toroidal Alfvén Waves in Dipole-Like Magnetosphere // Dayside Magnetosphere Interactions. 2020. Ch.10. P. 175–188. DOI:10.1002/9781119509592.ch10. (Geophysical Monograph., Vol. 248).

## 2.2.6. Развитие новых методов прогноза солнечной и геомагнитной активности

### 2.2.6.1. Сопоставление кинематики солнечных эруптивных протуберанцев и пространственного распределения индекса магнитного убывания

Проект «Развитие новых методов прогноза солнечной и геомагнитной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. И.И. Мышьяков (ИСЗФ СО РАН), Ц. Цветков (Institute of Astronomy and National Astronomical Observatory, BAS, Bulgaria)

Исследованы высотно-временные профили трех эруптивных протуберанцев, находившихся вне активных областей. Для каждого рассмотренного случая в потенциальном приближении рассчитано корональное магнитное поле и получено пространственное распределение индекса магнитного убывания (magnetic decay index). Сопоставление полученных распределений с кинематикой протуберанцев позволило сделать вывод, что возможным механизмом, ответственным за начало эрупций, являлась тороидальная неустойчивость ассоциированного с протуберанцем электрического тока во внешнем магнитном поле солнечной короны. Методики, примененные в данном исследовании, могут быть использованы для примерного определения высоты начала развития эрупции протуберанцев, располагающихся вне активных областей (рис. 2.2.6.1.1).

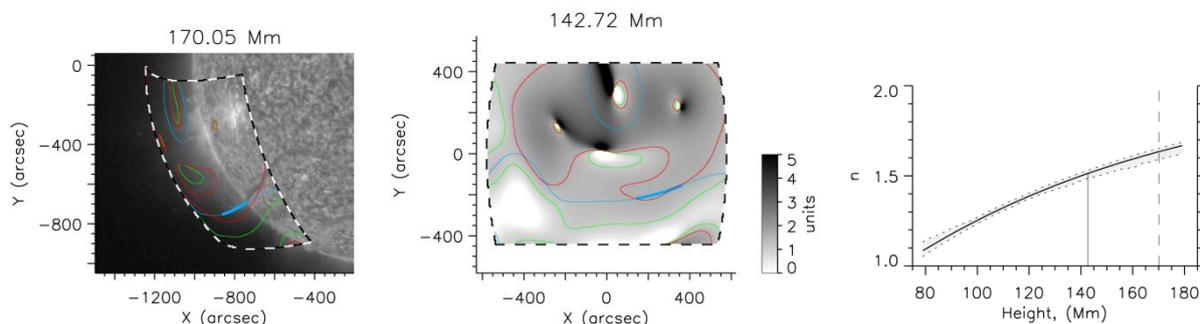


Рис. 2.2.6.1.1. Результаты, полученные для одного из рассмотренных событий: *a* — расчетное распределение индекса магнитного убывания  $n$  (зеленые контуры соответствуют  $n=1$ , красные  $n=1.5$ ) и нейтральная линия радиального магнитного поля (синие контуры, выделенный сегмент примерно соответствует положению вершины протуберанца) на указанной высоте, спроецированные на изображение STEREO A/SECCHI 304 Å; *b* — то же самое, вид сверху; черно-белый фон отражает распределение индекса магнитного убывания; *c* — высотное распределение индекса магнитного убывания вдоль выделенного сегмента нейтральной линии радиального магнитного поля: пунктирные линии — минимальное и максимальное значения, сплошная линия — среднее значение. Сплошная вертикальная линия отмечает высоту, на которой среднее значение достигло критической величины  $n=1.5$ . Штриховая вертикальная линия соответствует высоте вершины протуберанца в момент начала эрупции

### Публикация:

Myshyakov I., Tsvetkov T. Comparison of kinematics of solar eruptive prominences and spatial distribution of the Magnetic Decay Index // Astrophys. J. 2020. Vol. 889, iss. 1, id. 28. 7 p. DOI: 10.3847/1538-4357/ab6334.

## 2.3. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики

### 2.3.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента

#### 2.3.1.1. Разработка монохроматического фильтра Шольца на основе полного внутреннего отражения (ПВО) в объеме оптически активного монокристалла

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — Л.С. Токарева, к.ф.-м.н. Г.И. Кушталь, д.ф.-м.н. В.И. Скоморовский, С.В. Фирстов, В.А. Химич, к.т.н. С.А. Чупраков.

Разработан макет фильтра Шольца веерного типа в объеме оптически активного монокристалла — пластины левого и правого синтетического кристалла кварца (Z-среза), вращающие плоскость поляризации вдоль оптической оси. С использованием полного внутреннего отражения (ПВО) в пластине монокристалла луч света поочередно направляется перпендикулярно его оптической оси (возникает разность хода между о- и е-лучами) и вдоль оптической оси (происходит поворот плоскости колебаний лучей) (рис. 2.3.1.1.1).

«Пятиступенчатый» фильтр ПВО показывает высокий контраст спектрального пропускания: полуширина главного максимума пропускания в красной области спектра  $\sim 10 \text{ \AA}$ , величина вторичных максимумов 4–6 %, расстояние между максимумами  $52.4 \text{ \AA}$ .

Разработка может найти применение в спектрогелиографах для астрофизических наблюдений и в системах волоконно-оптической связи.

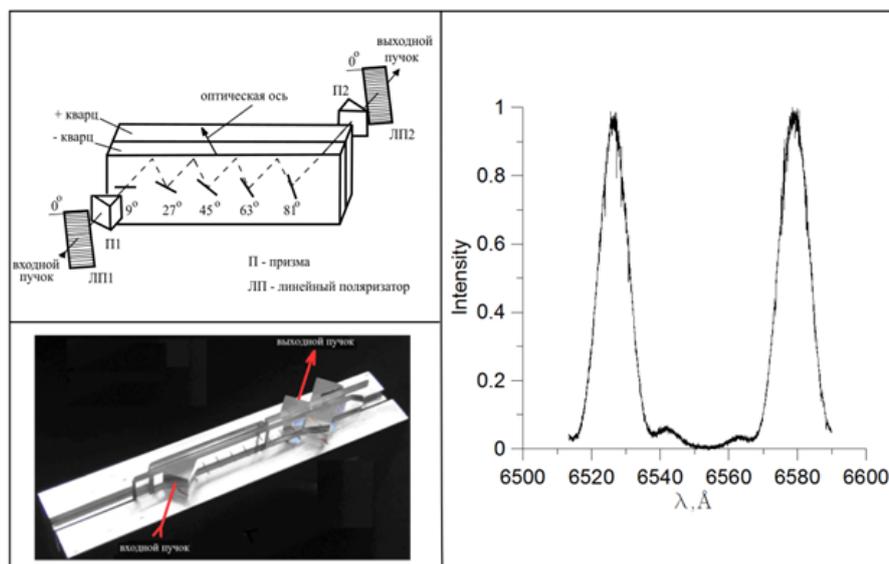


Рис. 2.3.1.1.1. Схема веерного фильтра полного внутреннего отражения (ВФПВО) (слева вверху), макет пятиступенчатого ВФПВО (слева внизу) и контур спектральной полосы пропускания ВФПВО (справа)

#### 2.3.1.2. Различие измерений крупномасштабных магнитных полей Солнца в спектральных линиях видимого и инфракрасного диапазонов в контексте проблем космической погоды

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов (ИСЗФ СО РАН), И. Ханаока, Т. Сакураи (Национальная астрономическая обсерватория Японии, NAOJ), С.Ф. Ван (Национальная астрономическая обсерватория Китая, NAOC).

Актуальной проблемой современной солнечно-земной физики является расхождение наблюдаемых напряженностей межпланетного магнитного поля с теоретически рассчитанными по магнитограммам Солнца. Обычно для расчетов используются измерения в спектральных линиях видимого диапазона. В исследовании впервые анализируются полнодисковые магнитограммы в инфракрасных линиях (IRmag, Митака, Япония). Сопоставления наблюдений на IRmag в линии SiI 1082.7 нм с наблюдениями в видимом спектре на инструментах GONG, WSO, SDO/HMI (США), СТОП (Саянская солнечная обсерватория, Россия) показало, что наблюдения в инфракрасных линиях дают значения напряженности на поверхности источника в 2–5 раз больше, чем наблюдения в видимом диапазоне, и это необходимо учитывать для согласования расчетов с экспериментальными данными (рис. 2.3.1.2.1).

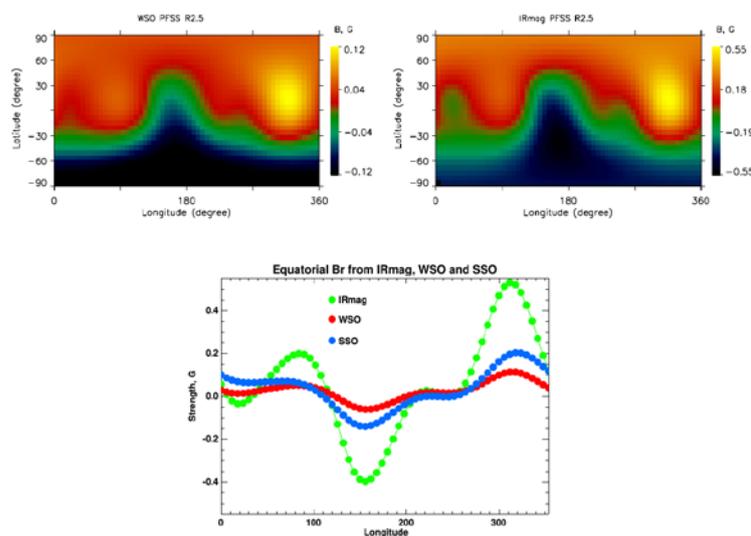


Рис. 2.3.1.2.1. Напряженность магнитного поля на поверхности источника (вверху), рассчитанная по наблюдениям обсерватории WSO (левая панель) и IRmag (правая панель); долготное распределение открытого магнитного потока на поверхности источника вблизи экватора по данным IRmag, WSO, СТОП ССО (внизу)

#### Публикации:

Demidov M.L., Hanaoka Y., Sakurai T., Wang X.F. Large-scale solar magnetic fields observed with the infrared spectro-polarimeter IRmag at the National Astronomical Observatory of Japan: Comparison of measurements made in different spectral lines and observatories // *Solar Phys.* 2020. Vol. 295, 54. 18 p. DOI: 10.1007/s11207-020-01620-4.

Demidov M.L., Hanaoka Y., and Sakurai T. Large-scale solar magnetic fields from observations in the visible and infrared spectral lines and some space weather issues // *Proc. 9th Solar Polarization Workshop SPW9*. Published open access by MPS 2020. DOI: 10.17617/2.3213520.

#### 2.3.1.3. Методика адаптивной компенсации задержек распространения сигналов в приемном тракте многоволнового Сибирского радиогелиографа (СРГ-48)

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — к.ф.-м.н. С.В. Лесовой, М.В. Глоба.

Разработана и внедрена методика адаптивной компенсации задержек распространения сигналов в приемном тракте многоволнового Сибирского радиогелиографа (СРГ-48). Фазовые наклоны в полосе частот приемной системы компенсируются до поступления на коррелятор, что повышает отношение сигнал/шум в исходных данных. Измерение зависимости фазы видности в полной полосе частот гелиографа дало возможность измерений относительных длин оптических линий связи с точностью до 1 см. Методика позволяет автоматически измерять длины кабелей приемной системы в режиме реального времени,

обеспечивает учет меняющихся во времени фазовых искажений, связанных в том числе с температурными эффектами. Внедрение методики первичной компенсации задержек сигналов и применение новых методов амплитудной калибровки данных значительно повысило динамический диапазон радиоизображений, получаемых с помощью СРГ (рис. 2.3.1.3.1).

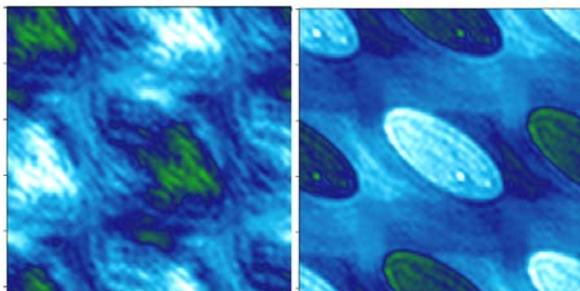


Рис. 2.3.1.3.1. Исходные изображения СРГ-48 в системе направляющих косинусов до и после работы процедуры адаптивной компенсации задержек распространения сигналов

Разработка может найти применение в системах волоконно-оптической связи. По результатам исследования готовится публикация.

#### 2.3.1.4. Изучение астроклиматических характеристик и проблем улучшения качества изображений крупных солнечных телескопов

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев, д.ф.-м.н. П.Г. Ковадло, А.В. Киселев, В.Е. Томин, к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов.

Разработан метод определения вертикальных профилей безразмерной характеристики показателя преломления воздуха. Метод может быть использован при коррекции солнечных изображений в реальном времени, а также для проведения соответствующих измерений профиля структурного параметра турбулентных флуктуаций показателя преломления воздуха с целью расчета мультисопряженных систем адаптивной оптики (рис. 2.3.1.4.1).

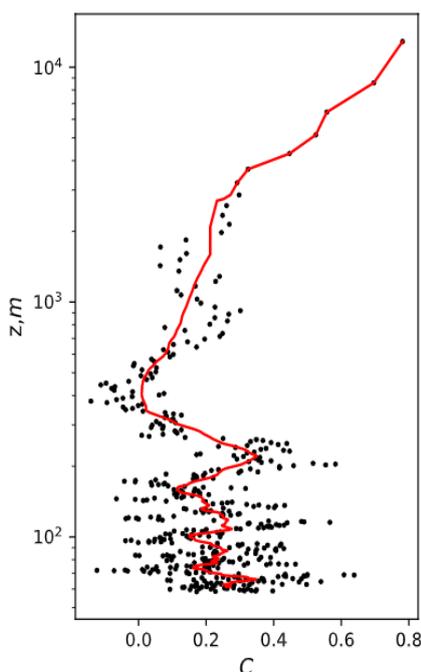


Рис. 2.3.1.4.1. Профиль ненормированной функции вариаций турбулентных флуктуаций показателя преломления воздуха. Параметр Фрида равен 5.7 см

### Публикация:

Shikhovtsev A.Yu., Kiselev A.V., Kovadlo P.G., Kolobov D.Yu., Lukin V.P., Tomin V.E. Method for Estimating the Altitudes of Atmospheric Layers with Strong Turbulence // Atmos. and Ocean. Opt. 2020. Vol. 33, no. 3. P. 295–301. DOI: 10.1134/S1024856020030100.

### 2.3.1.5. Создание широкоугольного зеркального объектива

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — к.т.н. С.А. Чупраков, к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов, д.ф.-м.н. В.И. Скоморовский, Г.Г. Голушко, А.Н. Зернин.

Создан макет оптической системы «зеркальный Райт». Система была полностью разработана и изготовлена в ИСЗФ СО РАН, испытания проводились в Саянской солнечной обсерватории (рис. 2.4.1.5.1). Целью макета являлось подтверждение достижимости высоких значений рабочего поля зрения, а также расчета конструкции светозащитной бленды. В результате испытаний было установлено, что изготовленный объектив полностью соответствует расчетным характеристикам: поле зрения  $2\omega=0.98^\circ$ ; интенсивность фона по полю зрения однородна, что подтверждает работу светозащитной бленды центрального отверстия и, соответственно, верность расчетов. Система обеспечивает большие допуски по децентрировке зеркал: вплоть до 3 мм линейного смещения и  $2.5^\circ$  при повороте planoидного зеркала. Это делает «зеркальный Райт» простым в эксплуатации и выгодно отличает его при решении задач сопровождения быстро перемещающихся объектов.

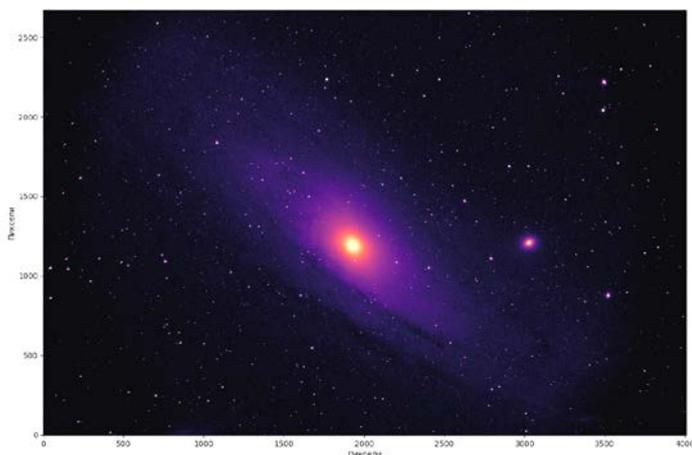
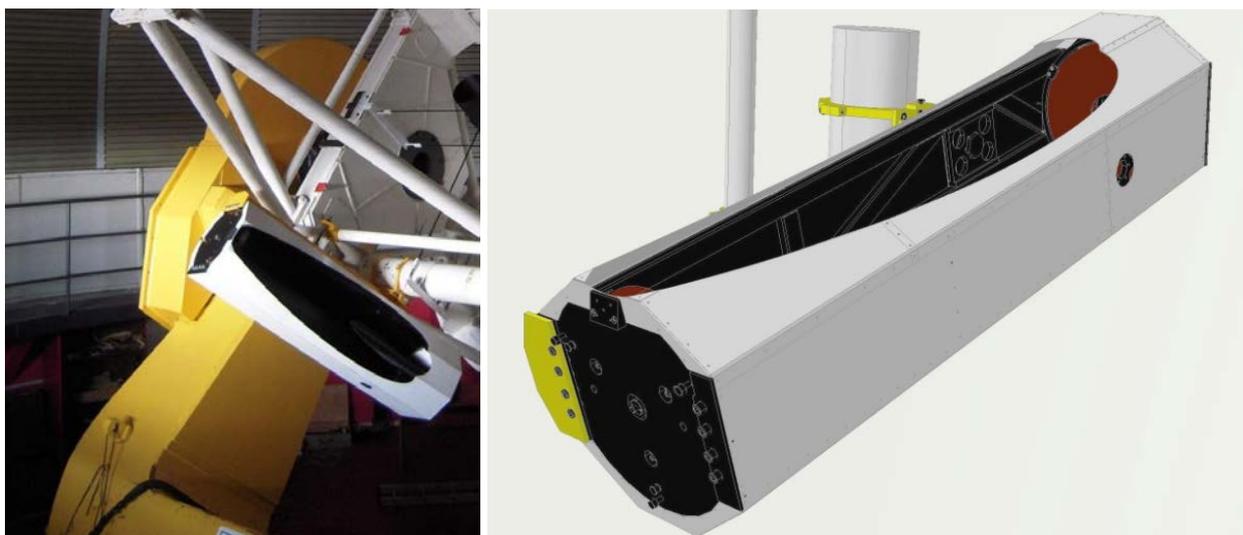


Рис. 2.4.1.5.1. Макет оптической системы «зеркальный Райт» на монтажке телескопа АЗТ-33ИК (слева) и 3D-модель макета (справа сверху), а также изображение туманности Андромеда (M31), полученное с помощью макета (справа внизу)

### 3. Работа обсерваторий, Центр коллективного пользования «Ангара», уникальные установки

#### 3.1. Байкальская астрофизическая обсерватория

Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО) расположена в п. Листвянка в 70 км от Иркутска. Основным инструментом БАО является единственный в России Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ) (рис. 3.1.1), входящий в перечень уникальных установок Российской Федерации (рег. номер 01-29). Кроме того, в БАО функционируют три хромосферных телескопа, оборудованных интерференционно-поляризационными фильтрами (ИПФ) на диагностически важные линии  $\text{H}\alpha$  (656.3 нм) и  $\text{K Ca II}$  (393.4 нм), а также Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения (СТОП-1), входящий в уникальную российскую сеть из трех идентичных инструментов для мониторинга солнечного магнетизма (два других СТОПа расположены в Уссурийске и в Кисловодске). В стадии отладки находится СОЛнечный Синоптический Телескоп (СОЛСИТ), на котором в отчетном году получен «первый свет» и продолжены пуско-наладочные мероприятия.



Рис. 3.1.1. Большой солнечный вакуумный телескоп

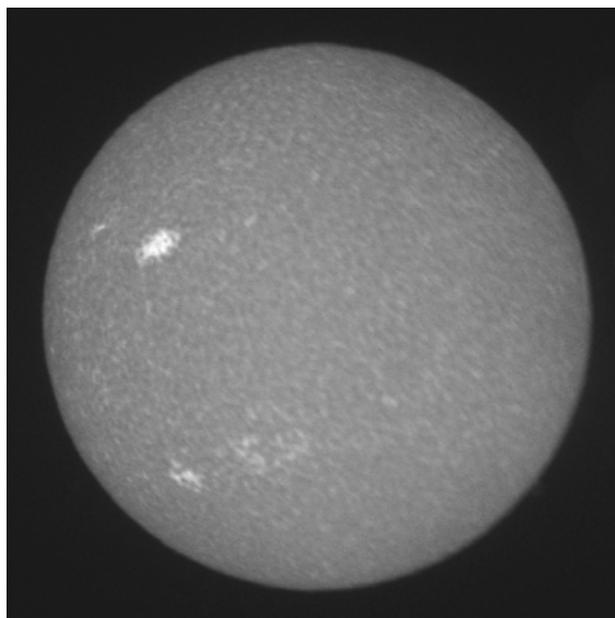
Основные задачи обсерватории — мониторинг солнечной активности и проблемно-ориентированные спектральные, спектрополяризметрические и фильтровые наблюдения нестационарных процессов в солнечной атмосфере с целью исследования механизмов их возникновения.

Благодаря наблюдениям на инструментах обсерватории были получены важные экспериментальные данные для решения научных задач, поставленных в проектах программы фундаментальных исследований СО РАН, проектах РФФИ и РНФ.

На протяжении 2020 г. проводились работы по модернизации аппаратуры БСВТ и совершенствованию методов наблюдений:

- настройка элементов адаптивной оптики и измерения искажений волнового фронта во втором фокусе двухзеркальной схемы адаптивной оптики;
- измерения волновых фронтов в скрещенных оптических пучках по изображениям, в том числе по изображениям солнечного края;
- работы по построению оптического контура измерений оптических искажений на разных высотах, включающего себя дополнительный датчик Шака — Гартмана;
- измерения средних и турбулентных характеристик флуктуаций скорости ветра, температуры и показателя преломления воздуха.

В 2020 г. продолжались регулярные наблюдения хромосферы Солнца (полный диск) в линии  $\text{K Ca II}$  393.4 нм (А.А. Жданов, А.В. Овчаров, А.А. Головкин). В течение 91 дня наблюдений с 10 января по 12 ноября получено 815 изображений. Эти данные после приведения к стандартизированной форме опубликованы на сайте Института ([ftp://iszf.irk.ru/k\\_calcium](ftp://iszf.irk.ru/k_calcium)). На рис. 3.1.2 приведено изображение хромосферы, полученное в БАО 28 октября 2020 г.



*Рис. 3.1.2.* Изображение хромосферы Солнца в линии ионизованного кальция, полученное в БАО 28 октября 2020 г.

В летнее время выполнены квазирегулярные наблюдения хромосферы Солнца (полный диск) в линии  $H\alpha$  656.3 нм (А.А. Жданов, А.В. Овчаров, А.А. Головки). В течение 51 дня наблюдений с 13 мая по 28 октября получено 8136 изображений.

Выполнялись мероприятия по совершенствованию инфраструктуры обсерватории, в частности, выполнен большой объем работ по утеплению и внутренней отделке нового здания для проживания наблюдателей.

Проводились многочисленные экскурсии для школьников, студентов и гостей обсерватории и ИСЗФ СО РАН.

### **3.2. Саянская солнечная обсерватория**

Саянская солнечная обсерватория (ССО) ИСЗФ СО РАН расположена напротив горы Мунку-Сардык в районе с. Монды Тункинского района Бурятии (Россия) на высоте 2000 м, в 320 км от г. Иркутска (рис. 3.2.1).



*Рис. 3.2.1.* Саянская солнечная обсерватория. Общий вид

Основные задачи обсерватории — солнечные исследования, исследования звезд и космического пространства, а также исследование и мониторинг околоземного космического пространства, в том числе наблюдения за ИСЗ и космическим мусором. Помимо этого на территории обсерватории ведутся регулярные наблюдения магнитных токов Земли, исследование атмосферного электричества, мониторинг ионосферы на основе доплеровского эффекта GPS- зондирования, а также ведутся метеорологические наблюдения, включая исследования астроклимата и контроль загрязнения атмосферы.

В 2020 г. на телескопе АЗТ-33ИК ССО ИСЗФ СО РАН выполнены наблюдения площадок космических гамма-всплесков (GRB) с целью обнаружения и измерения послесвечения в оптическом диапазоне. За период с января по ноябрь 2020 г. наблюдались 30 площадок.

Для получения измерительной информации, необходимой для уточнения параметров траектории движения космического аппарата (КА) «Спектр-РГ», за период с 1 декабря 2019 г. по 18 ноября 2020 г. в течение 114 наблюдательных ночей было получено 5268 измерений.

В рамках наземной поддержки программы научных наблюдений космической обсерватории «Спектр-РГ» на телескопе АЗТ-33ИК выполнялись работы по оптическому сопровождению «Спектр-РГ». В ходе выполнения работ проводились оптические наблюдения скоплений галактик и квазаров, с целью получить глубокие оптические изображения полей этих объектов, а также провести спектроскопические измерения их красных смещений. Всего с декабря 2019 г. по октябрь 2020 г. было 88 наблюдательных ночей, преимущественно в темное (безлунное) время, в течение 53 ночей были выполнены спектроскопические измерения 71 внегалактического объекта.

На модернизированном телескопе АЗТ-14А проводились регулярные траекторные наблюдения высокоорбитальных космических объектов (КО). Всего за период с 1 декабря 2019 г. по 18 ноября 2020 г. в течение 233 наблюдательных ночей было измерено 1464 каталогизированных КО. Общее количество серий измерений по всем объектам 2701, из них 42 серии по некаталогизированным КО. Общее число отдельных измерений — 71253. Измерено 1066 объектов без данных TLE (Two-Line Element set).

В рамках работы по договору «Информационное обеспечение автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве в части предоставления информации от телескопа АЗТ-33ИК и телескопа АЗТ-33ВМ» в течение 2020 г. на телескопах АЗТ-33ИК и АЗТ-33ВМ проводились регулярные наблюдения искусственных космических объектов и космического мусора (КМ).

За 201 наблюдательную ночь на телескопе АЗТ-33ВМ получена измерительная информация по 528 КО, включающая:

- наблюдение потенциально опасных сближений (232 пары сближающихся объектов);
- наблюдение фрагментов запуска гидрометеорологического спутника «Электро-Л» № 3 и фрагментов разрушения сбрасываемого топливного бака разгонного блока «Фрегат-СБ»;
- регулярные наблюдения в области высокоапогейных орбит с целью обнаружения и каталогизации малоразмерных объектов КМ. При использовании измерительной информации, полученной на телескопе АЗТ-33ВМ, каталогизировано 290 объектов КМ с блеском до 20-й звездной величины.

Общее количество серий измерений, полученных на телескопе АЗТ-33ВМ, 1785.

На телескопе АЗТ-33ИК в течение 187 ночей проводились регулярные фотометрические измерения 49 КА на геостационарной и средневысоких орбитах.

По оперативным заданиям проведены наблюдения 15 КО с целью получения координатной и фотометрической информации. Общее количество серий измерений, полученных на телескопе АЗТ-33ИК, 1030.

На телескопе СТОП выполнялись наблюдения крупномасштабных (фоновых) магнитных полей и общего магнитного поля Солнца как звезды. Данные наблюдения актуальны для исследований глобального магнетизма Солнца, а также ряда проблем, связанных с космической погодой. Количество полученных магнитограмм 323, количество измерений общего поля 320.

На Саянском спектрографическом комплексе космических лучей проводилась непрерывная регистрация вариаций космических лучей и атмосферного давления с минутным и часовым разрешением. Данные наблюдений и экспериментов послужили основой для выполнения научно-исследовательских работ по программе «Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей». Информация со станций космических лучей Иркутск, Иркутск-2 и Иркутск-3 передается в режиме реального времени в ИСЗФ СО РАН, Мировой центр данных WCD и в международную базу данных NMDB. Данные наблюдений представлены на сайтах <http://cgm.iszf.irk.ru/>, <http://www.nmdb.eu>, <http://center.stelab.nagoya-u.ac.jp/WDCR>. По данным наблюдений опубликовано 5 статей.

На автоматизированном солнечном телескопе (АСТ) проходили наблюдения с целью получения экспериментальных данных по исследованию структуры и динамики различных образований в солнечной атмосфере, колебаний и волн в фотосфере и хромосфере Солнца методами спектрополяриметрии (табл. 3.2.1).

Таблица 3.2.1

Наблюдения на АСТ в 2020 г.						
		Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Итого
Пятно	He I 10830 Å, Si I 10827 Å		2			2
	H $\alpha$ , He I 10830 Å, Si I 10827 Å	1				1
Факел	He I 10830 Å, Si I 10827 Å		6			6
	H $\alpha$ , He I 10830 Å, Si I 10827 Å	4		5	2	11
Волокно	H $\beta$ 4861 Å, Fe I 4859 Å		1		4	5
КД	H $\alpha$ , He I 10830 Å, Si I 10827 Å			3	7	10

За год получено 35 временных серий длительностью 40–166 мин, средняя длительность серий составляет 84 мин. Было сделано также 9 сканов активных областей.

Также на территории обсерватории сотрудниками Астрономической обсерватории ИГУ была смонтирована и запущена в работу метеорная станция для фиксации и спектрографии метеоров в небе над Тункинской долиной (рис. 3.2.2).



Рис. 3.2.2. Метеорная станция

В ССО работали сотрудники Института космических исследований РАН, Специальной астрофизической обсерватории РАН, а также выполнялись научные проекты и наблюдения совместно с учеными из Германии, Нидерландов, Китая, Монголии.

В ССО регулярно проводятся экскурсии для школьников и абитуриентов. В 2020 г. было проведено 30 экскурсий. Лекторы: зам. директора М.Л. Демидов, зав. обсерваторией С.В. Латышев, с.н.с. С.А.Чупраков, зав. лаб. М.В. Еселевич, гл. специалист А.Г.Рудаков, техник Е.В. Школьников, с.н.с. А.А. Луковникова, с.н.с. С.А. Язев.

Штат ССО составляет 27 сотрудников, штат постоянного обслуживающего персонала обсерватории состоит из 20 человек. При выполнении специальных и рутинных программ наблюдений группа научных сотрудников и инженеров составляет от 5 до 20 человек, включая дежурных наблюдателей.

### 3.3. Радиоастрофизическая обсерватория



Рис. 3.3.1. Общий вид РАО. Крестообразная антенная решетка ССРТ и СРГ. Рядом со зданием расположены спектрополяриметры

Радиоастрофизическая обсерватория (РАО) ИСЗФ СО РАН расположена в урочище Бадары Тункинского района Республики Бурятия (рис. 3.3.1). Основными инструментами обсерватории являются: уникальный Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ), Сибирский радиогелиограф (СРГ) и комплекс спектрополяриметров с общим диапазоном от 0.05 ГГц до 24 ГГц. Радиоинтерферометры ССРТ и СРГ работают независимо и позволяют получать двумерные радиоизображения Солнца, в течение всего светового дня круглый год, независимо от погодных условий. Общий вид антенной системы РАО приведен на рис. 3.3.1, основные параметры Сибирского радиогелиографа — в табл. 3.3.1.

Табл. 3.3.1. Основные параметры Сибирского радиогелиографа

Диапазон рабочих частот	4–8 ГГц
Мгновенная полоса частот	10 МГц
Угловое разрешение	50 угл. сек.
Время накопления	0.3 с
Чувствительность по компактным источникам	0.01 с.е.п.

Приемная система работает в автоматическом режиме и позволяет получать двумерные изображения Солнца в диапазоне 4–8 ГГц с количеством каналов, изменяемым в зависимости от наблюдательной задачи. В настоящее время наблюдения ведутся на 32 частотах одновременно.

Комплекс спектрополяриметров с общим диапазоном от 0.05 до 24 ГГц, позволяет наблюдать динамические спектры быстропротекающих процессов в солнечной короне. Пример данных низкочастотного спектра приведен на рис. 3.3.2.

Одной из особенностей радиогелиографа является возможность получения корреляционного потока со сверхвысокой чувствительностью до 0.01 с.е.п., что является уникальной характеристикой радиотелескопа нового поколения (рис. 3.3.3).

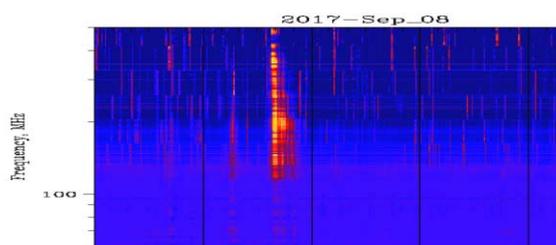


Рис. 3.3.2. Запись всплеска в диапазоне 0.05–0.5 ГГц, полученная на солнечном спектрополяриметре метрового диапазона (ССМД), 08 сентября 2017 г.

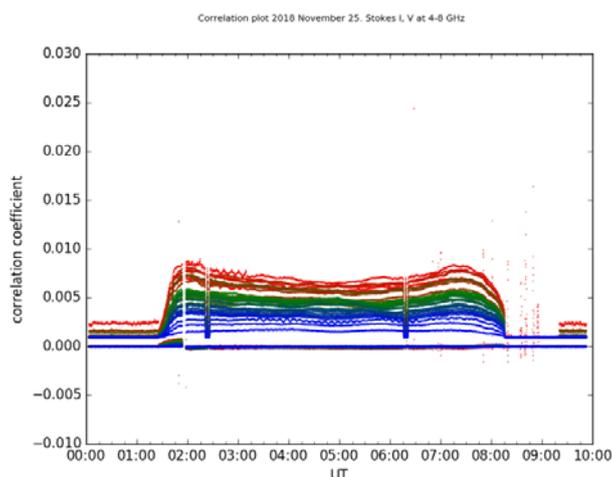


Рис. 3.3.3. Корреляционный поток, полученный с помощью СРГ

В 2019 г. введены новые методы фазовой и амплитудной калибровки многоволнового радиогелиографа, которые позволяют существенно улучшить качество получаемых изображений Солнца не только во время мощных вспышек, но при наблюдении спокойного Солнца, а также центрировать изображения, получаемые в автоматическом режиме (рис. 3.3.4).

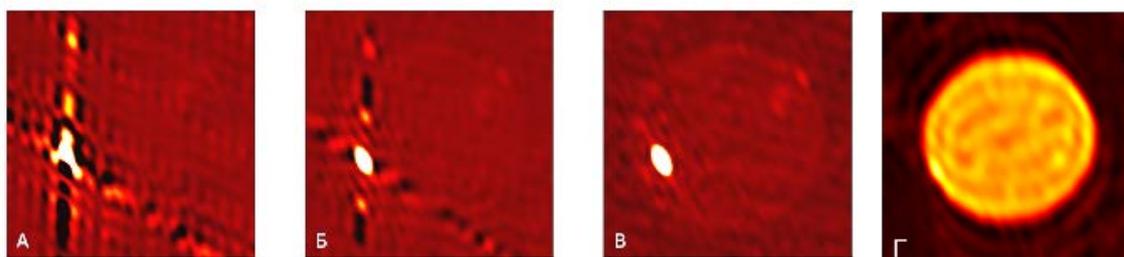


Рис. 3.3.4. Изображения Солнца, полученные 26 ноября 2018 г. на многоволновом радиогелиографе в автоматическом режиме

В 2019 г. в РАО разработан проект солнечного спектрополяриметра метрового диапазона, предназначенного для использования в сети наземных инструментов в рамках задачи прогноза космической погоды. Предложенные технические решения по созданию спектрополяриметра метрового диапазона, по мнению авторов проекта, могут стать хорошим подспорьем в построении российской (а в перспективе и обновления международной) сети солнечных спектрополяриметров метрового диапазона длин волн. Проведение работ по проекту предполагается в 2020–2021 гг.

Наблюдения осуществляются регулярно в светлое время суток, результаты наблюдений хранятся как в исходном, так и в обработанном виде. В 2019 г. проведены работы по установке и настройке нового сетевого оборудования системы хранения данных, которое позволяет ввести резервирование и повысить сохранность радиоастрономических данных, а также в несколько раз ускорить доступ к данным РАО. Данные всех инструментов РАО доступны онлайн на сайтах <http://badary.iszf.irk.ru> и <ftp://ftp.rao.istp.ac.ru/>.

В 2020 г. начаты работы по отладке и тестированию нового оборудования, монтируемого в рамках проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс» (рис. 3.3.5).

Общий штат сотрудников обсерватории составляет порядка 40 человек, из них научно-технического персонала 20 человек.



Рис. 3.3.5. Новое оборудование, монтируемое в рамках проекта НГК

### 3.4. Геофизическая обсерватория

Геофизическая обсерватория (ГФО) расположена на расстоянии 150 км от г. Иркутска в Республике Бурятия вблизи с. Торы ( $103^{\circ}$  E,  $51^{\circ} 42'$  N, высота над уровнем моря 530 м) (рис. 3.4.1).



Рис. 3.4.1. Геофизическая обсерватория: слева — общий вид; справа — строящийся технический корпус

Экспериментальная база ГФО 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 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 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.

- Спектрометр (ИКС-1), предназначенный 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 на базе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) ЭПМ102Г-04-22С и ПЗС-камеры SDU-R259, предназначенная для регистрации быстрых вариаций (~5–100 мс) излучения ночного неба. Для исследования быстрых вариаций в спектральном распределении излучения ночного неба и для работы при высокой освещенности (зодиакальный свет, Луна) оптическая система работает в составе высокочувствительного спектрографа на базе монохроматора МДР-2.

- Спектрограф на базе монохроматора МДР-12 и ПЗС-камеры CSDU-423, предназначенный для регистрации спектрального состава и пространственного распределения собственного излучения верхней атмосферы Земли.

- Сканирующий интерферометр Фабри — Перо «КЕО Arinae», предназначенный для измерения температуры и скорости ветра на высотах высвечивания эмиссий.

- Солнечный фотометр CIMEL-CE-318, предназначенный для измерений прозрачности и влагосодержания в атмосфере.

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

- Инфразвуковая станция, предназначенная для выделения акустических сигналов инфразвукового диапазона в атмосфере Земли.

- Цифровое многоканальное приемно-передающее 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.

В 2020 г. проводился патрульный мониторинг интенсивности естественного ночного свечения верхней атмосферы. В результате составлены ряды интенсивности линий свечения атомарного и молекулярного кислорода, гидроксила, вращательной температуры гидроксила, скорости и направления ветра на высотных уровнях 89, 97 и 250 км, температуры на высотах 97 и 250 км; начаты наблюдения спектрального состава свечения верхней атмосферы и динамики его малых компонент во всем видимом диапазоне спектрометром с высокой разрешающей способностью.

Проведены подготовительные работы для установки нового оборудования пускового объекта НГК «Оптические инструменты» в ГФО. Созданы и подготовлены к установке в новое техническое здание восемь устройств для регулярного переведения новых оптических инструментов в рабочее подкупольное пространство и в положение для защиты от солнечного излучения, а также регламентного обслуживания и ремонтных работ. Проработана схема установки и проведена подготовка прозрачных акриловых куполов для установки на крыше строящегося технического здания.

Проводился мониторинг инфразвуковых сигналов на инфразвуковой станции. Регистрация инфразвуковых сигналов осуществляется с помощью трехпозиционной станции, оснащенной микробарографами.

Проводились непрерывные наблюдения на многофункциональном цифровом ионозонде вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом «Ионозонд-МС». Были получены данные со следующих наклонных трасс: Норильск–Торы, Магадан–Торы, Кипр–Торы. Так же были получены данные вертикального и слабонаклонного зондирования на трассе Усолье–Торы. Проведена обработка полученных данных, пополнен архив данных.

Данные наблюдений приборов, установленных в обсерватории, передаются через интернет на сервера ИСЗФ СО РАН. По большинству приборов предварительно обработанные данные доступны на сайтах института <http://atmos.iszf.irk.ru/> и <http://dep1.iszf.irk.ru>.

### 3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы

Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА) ИСЗФ СО РАН расположена вблизи г. Усолье-Сибирское на территории одной из войсковых частей Министерства обороны РФ на удалении 125 км от г. Иркутска (рис. 3.5.1).

Задачами обсерватории являются проведение наблюдений на радиофизическом комплексе инструментов Института и обслуживание и модернизация научного оборудования, находящегося в обсерватории.



Рис. 3.5.1. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы. Общий вид ИРНР

Экспериментальная база ОРДА включает в себя следующее научное оборудование:

1. Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) входит в перечень уникальных установок национальной значимости (рег. № 01-28), информация представлена в разделе «Уникальная установка Иркутский радар некогерентного рассеяния», <http://ckp-rf.ru/usu/77733/>.

2. Передающий пункт многопозиционного ЛЧМ-ионозонда, входящий в ЦКП «Ангара», <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.

В течение 2020 г. в ОРДА проводился ряд экспериментов, предназначенных для отработки новых методик, модернизации аппаратуры и программного обеспечения:

- обнаружение и регистрация космических объектов (КО) в рамках проекта «Горизонт–ИСЗФ»;
- долговременные режимы сканирования для поиска КО в рамках проекта «Горизонт–ИСЗФ»;
- измерение параметров модернизированных выносных приемных устройств (ВУП);
- накопление статистики при работе системы синхронизации ИРНР—РЛК.

### ***Иркутский радар некогерентного рассеяния***

В 2020 г. выполнены следующие работы на ИРНР:

- заменены генераторные лампы в передающие устройства;
- заменены высокочастотные (ВЧ) кабели (4 штуки) с целью уменьшения коэффициента затухания сигналов на несущей частоте;
- разработано новое выносное устройство приемника для регистрации радиосигналов на несущей частоте;
- внедрены новые цифровые приемные устройства для регистрации сигналов на несущей частоте.

Общее время наблюдений в активном режиме — 61 сут (в том числе работы по проекту «Горизонт»), в остальное время наблюдения велись в пассивном режиме.

### ***Передающий пункт многопозиционного ЛЧМ-ионозонда***

В 2020 г. на передающем пункте выполнены работы по модернизации антенн, системы вентиляции коротковолновых передающих устройств и доработке функционального программного обеспечения.

Общее время работы передающего пункта на трассе ОРДА–ГФО составило ~275 сут. Доступ к информации для внешнего пользования осуществляется по запросу на сайты ИСЗФ СО РАН: <http://rp.iszf.irk.ru:8080/iisr>; <http://iszf.irk.ru>.

## **3.6. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория**

Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория (КМИО) обладает широким комплексом геофизических инструментов для наблюдения геомагнитного поля и параметров ионосферы. КМИО включает в себя четыре научных геофизических стационара: два на территории Иркутской области (Патроны, Узур) и два в других регионах России — в Красноярском крае (Норильск) и в Бурятии (Монды). В обсерватории ведется круглосуточный круглогодичный мониторинг состояния ионосферы и электромагнитного поля Земли в широком диапазоне периодов.

### **3.6.1. Магнитная обсерватория (п. Патроны)**



*Рис. 3.6.1.1.* Лабораторное здание МО «Иркутск» (слева) и вариационный павильон (справа)

В Магнитной обсерватории «Иркутск» (рис. 3.6.1.1) проводится непрерывный круглосуточный мониторинг вариаций геомагнитного поля тремя сериями магнитометров:

- трехкомпонентной феррозондовой станцией Lemi-018;
- трехкомпонентной станцией «КВАРЦ»;
- трехкомпонентной магнитовариационной станцией «МВС».

Абсолютные измерения компонент магнитного поля Земли проводятся следующими приборами:

- оверхаузеровским протонным магнитометром POS-1 — полного вектора МПЗ;
- инклинометром/деклинометром MAG-001 фирмы «Бартингтон» (Англия, на гео-

долите фирмы «Цейсс») — склонения и наклонения элементов магнитного поля Земли (рис. 3.6.1.2).

Данные о вариациях магнитного поля Земли по интернету передаются в Институт каждые 15 мин и выставляются на сайте Института.

Магнитная обсерватория «Иркутск» входит в мировую сеть станций «Интермагнет».



Рис. 3.6.1.2. Инклинометр/деклинометр MAG-001 (слева) и трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-018 (справа)

### 3.6.2. Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория

Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория (БМТО) расположена на севере о. Ольхон оз. Байкал в п. Узуры в 350 км от Иркутска (рис. 3.6.2.1).

Место расположения этой станции было выбрано в период проведения МГГ (~1957 г.) в виду очень незначительных техногенных электромагнитных помех, которые ослабляет водная толща Байкала. С 1963 г. станция существует как постоянно действующий стационар для регистрации горизонтальных компонент земных токов и вариаций магнитного поля Земли.



Рис. 3.6.2.1. Основные здания и сооружения БМТО (слева; на переднем плане и в глубине — элементы солнечно-ветровой электростанции) и общий вид на п.Узуры (справа)

В настоящее время в БМТО функционирует обширный геофизический комплекс по круглосуточному мониторингу параметров ближнего космоса. Он включает в себя следующие приборы:

- трехкомпонентный феррозонд для измерения вариации магнитного поля Земли (частотный диапазон 0–1 Гц);
- трехкомпонентные индукционный нанотесламетр для измерения магнитных составляющих геомагнитных пульсаций (частотный диапазон 0.001–200.0 Гц);
- трехкомпонентная установка земных токов ( $E_{C-10}$ ;  $E_{B-3}$ ;  $E_z$ ) для измерения вариаций земных токов в частотном диапазоне 0.001–200.0 Гц (БМТО «Узур» — единственная станция в России, где проводятся измерения вертикальной компоненты земных токов);
- приемник сигналов навигационных спутников системы GPS/GLONAS для определения полного электронного содержания в ионосфере и магнитосфере;

- электростатический флюксометр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы;
- приемник сейсмосигналов для исследования землетрясений в Байкальской рифтовой зоне.

Данные этого комплекса ежедневно передаются по интернету в Институт для использования в исследованиях фундаментального и прикладного характеров.

### 3.7. Норильская магнитно-ионосферная станция

Основной задачей Норильской комплексной магнитно-ионосферной станции (КМИС) (рис. 3.7.1) является выполнение регулярного мониторинга в арктических широтах параметров ближнего космоса средствами комплекса радиофизических, магнитометрических, космофизических и оптических инструментов.

Магнитометрические измерения проводятся с помощью:

- трехкомпонентной феррозондовой станции Lemi-008;
- трехкомпонентной станции «КВАРЦ».



Рис. 3.7.1. Норильская КМИС. Лабораторный корпус

Абсолютные измерения компонент магнитного поля Земли ведутся следующими приборами:

оверхаузеровским протонным магнитометром POS-1 — измерение полного вектора МПЗ;

– инклинометром/деклинометром MAG-001 фирмы «Бартингтон» (Англия, на теодолите фирмы «Цейсс») — склонение и наклонение элементов магнитного поля Земли.

Радиофизические измерения и регистрацию космических лучей осуществляют:

– цифровой дигизонд DPS-4 и ЛЧМ-приемник — мониторинг параметров ионосферы;

– супермонитор NM64 — регистрация частиц солнечного и галактического происхождения, достигающих поверхности Земли.

Данные всех измерений передаются в Институт по сети Интернет.

#### 3.7.1. Пункт Исток

Выносной наблюдательный пункт (НП) «Исток» Норильской КМИС ИСЗФ СО РАН, расположен в тундре на расстоянии 100 км от г. Норильск на оз. Пясино (рис. 3.7.1.1). НП «Исток» предназначен для мониторинга оптических и космофизических явлений в высоких широтах в условиях минимума промышленных и оптических (подсветка города) помех. В НП «Исток» установлены:

1. Индукционный магнитометр Lemi-30 для регистрации геомагнитных пульсаций.
2. Приемник сигналов навигационных систем ГЛОНАСС/GPS Javad-DELTA-G3T с антенной RingAnt-G3T.
3. Оптический комплекс, включающий:
  - спектрограф Shamrock 303i;
  - широкоугольные обзорные камеры CSDU-285 и SDU-415C.
4. Комплекс аппаратуры для проведения экспериментов по международному проекту «Исследование динамических вариаций поведения частиц и волн во внутренней магнитосфере с использованием наблюдений сети наземных станций» (PWING):
  - риометр (30 МГц);
  - приемник сигналов ОНЧ–КНЧ (0.1–20 кГц);
  - телевизионная камера для регистрации полярных сияний KeoSentry 3" MultispectralImager.

Данные наблюдений ежедневно передаются в Институт по спутниковому интернет-каналу.



Рис. 3.7.1.1. Пункт «Исток» (общий вид)

### 3.8. Центр коллективного пользования «Ангара»



Рис. 3.8.1. Пункты обращения к сайту ЦКП «Ангара» в 2020 г.

ЦКП «Ангара» представляет собой ряд инструментов нового поколения, которые дают возможность получения уникальных данных по солнечной активности и ее проявлениям в околоземном космическом пространстве. Инструменты и установки расположены в обсерваториях ИСЗФ СО РАН. В настоящее время в ЦКП «Ангара» входит следующее научное оборудование:

- Автоматизированный солнечный телескоп
- Астроизмерительный комплекс
- Комплекс цифровых ионозондов DPS-4

- Магнитометрический комплекс
- Многопозиционный ионозонд с линейной частотной модуляцией излучаемого сигнала (ЛЧМ-ионозонд);
- Оптический комплекс
- Прибайкальская сеть приемников ГЛОНАСС/GPS
- Саянский спектрографический комплекс космических лучей
- Сеть когерентных ионосферных КВ-радаров
- Солнечный спектрополяриметр 2–24 ГГц
- Солнечный телескоп оперативных прогнозов
- Иркутский радар некогерентного рассеяния, уникальная научная установка рег. № 01-28.

На рис. 3.8.1 показана карта с обозначенными пунктами обращения к сайту ЦКП «Ангара».

В 2020 г. на оборудовании ЦКП велась регулярная работа по мониторингу состояния околоземного космического пространства. С целью возможности запроса на доступ к оборудованию со стороны зарубежных пользователей в 2020 г. создана англоязычная версия сайта ЦКП «Ангара» <http://ckp-angara.iszf.irk.ru/>.

### 3.9. Когерентные декаметровые радары ИСЗФ СО РАН

Декаметровые радары когерентного рассеяния ИСЗФ СО РАН — импульсные стереорадары с диапазоном рабочих частот 8–20 МГц типа CUTLASS SuperDARN (Super Dual Auroral Radar Network), являющиеся единственными радаром подобного типа в Российской Федерации. В настоящее время ИСЗФ СО РАН обладает двумя такими функционирующими радаром: радаром ЕКВ, развернутом совместно с ИГФ УрО РАН на территории обсерватории «Арти» ИГФ УрО РАН в Свердловской обл., и радаром MAGW, развернутом совместно с ИКИР ДВО РАН на территории обсерватории «Магадан» ИКИР ДВО РАН в Магаданской обл. Фазированная антенная решетка радара имеет размер порядка 230×100 м, дальность работы радара 3500–4500 км. Общий вид радаров показан на рисунке.



Рис. 3.9.1. Общий вид радаров ЕКВ (вверху) и MAGW

Высокая чувствительность радаров коротковолнового диапазона к различным проявлениям космической погоды и широкий сектор обзора одиночного радара (порядка 1 млн. кв. км.) определяет основные прикладные задачи таких радаров:

- мониторинг ионосферных возмущений, оказывающих существенное влияние на работу систем связи, навигации, радиолокации и других технологических систем на территории России и прилегающих арктических областях;
- мониторинг условий прохождения радиоволн в секторах обзора радаров, создающий основу для эффективного прогноза поглощения и условий распространения радиоволн, в том числе и оптимальных частот в КВ-радиоканалах в различных геофизических условиях;
- изучение и мониторинг процессов в системе магнитосфера-ионосфера-атмосфера-литосфера, являющиеся основой прогноза возмущений, влияющих на функционирование различных радиотехнических средств и технологических систем.

Радары работают круглосуточно, данные радаров в автоматическом режиме передаются в ИСЗФ СО РАН, обработанные данные доступны на сайте <http://sdrus.iszf.irk.ru>  
В декабре 2020 года был запущен в эксплуатацию радар MAGW.

### 3.10. Уникальные научные установки

#### 3.10.1. Сибирский солнечный радиотелескоп (рег. номер 01-27)

Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ) — Т-образный радиогелиограф, состоящий из трех плечей (восток–запад–юг) по 32 антенны диаметром 1.8 м с минимальной базой между антеннами 4.9 м, кратно увеличивающейся к краям антенной решетки (рис. 3.10.1.1). В результате многократной модернизации в настоящее время ССРТ представляет собой многоволновый радиотелескоп апертурного синтеза, способный регистрировать микроволновое излучение Солнца в диапазоне от 4 до 8 ГГц на 64 частотных каналах. Количество каналов может варьировать в зависимости от научной задачи. Телескоп находится в Тункинской долине между хребтами Восточный Саян и Хамар-Дабан в 220 км от Иркутска.



Рис. 3.10.1.1. Сибирский солнечный радиотелескоп

Основные научные задачи ССРТ:

- всепогодный ежедневный мониторинг солнечной активности с высоким временным разрешением и высокой чувствительностью;

- исследование геоэффективных событий в солнечной атмосфере (активных областей, выбросов корональной массы, потоков энергичных частиц, ударных волн) по их микроволновому излучению с высоким пространственным и временным разрешением (с привлечением в случае необходимости данных других диапазонов);
  - исследование механизмов нагрева хромосферы во время солнечных вспышек;
  - исследование структуры атмосферы, магнитных полей и движений плазмы в солнечных пятнах и активных областях;
  - развитие методов диагностики и прогноза геоэффективных явлений;
  - создание новых методов измерений параметров солнечной атмосферы;
  - изучение динамики источников импульсного микроволнового излучения во время солнечных вспышек, диагностика вспышечной плазмы и области энерговыделения;
  - анализ процессов и условий формирования корональных выбросов массы;
  - исследование механизмов нагрева солнечной короны (активные области, яркие корональные точки, корона над корональными дырами);
  - разработка методов прогнозирования мощных солнечных вспышек и корональных выбросов массы.

В таблице 3.10.1.1 представлен график загрузки УНУ ССРТ за 2020 г. (в часах, указывается организация — пользователь данных).

Таблица 3.10.1.1. График загрузки УНУ ССРТ за 2020 г.

Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь	
186	ИСЗФ	168	ИСЗФ	255	ИСЗФ	245	ИСЗФ	180	ИСЗФ	200	ИСЗФ
Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
280	ИСЗФ	250	ИСЗФ	240	ИСЗФ	248	ИСЗФ	240	ИСЗФ	186	ИСЗФ

В результате отлаженной работы коллектива для наблюдений используется всё доступное световое время, в 2020 г. составившее 2678 ч.

ССРТ в каталоге уникальных научных установок: <http://ckp-rf.ru/usu/73606/>.

Ежедневные изображения и данные наблюдений доступны на сайте <http://badary.iszf.irk.ru/>.

Архив данных доступен на ресурсе <ftp://ftp.rao.istp.ac.ru/>.

### 3.10.2. Иркутский радар некогерентного рассеяния (рег. номер 01-28)



Рис. 3.10.2.1. Управляющий приемно-регистрационный комплекс

Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) находится на территории Обсерватории радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА) ИСЗФ СО РАН.

Основные научные задачи ИРНР:

- регулярные наблюдения вариаций параметров ионосферы в разные время суток и сезоны при различных уровнях солнечной и геомагнитной активностей;
- исследование мощных когерентных отражений во время геомагнитных возмущений;
- наблюдение распространения волновых возмущений, приходящих из полярной области ионосферы;
- наблюдение и сопровождение звездных радиоисточников в пассивном режиме;
- наблюдение космических объектов.

В 2020 г. выполнены работы по модернизации аппаратуры ИРНР:

- разработано и внедрено цифровое приемное устройство, позволяющее регистрировать сигналы на несущей радиочастоте;
- заменены высокочастотные кабели с целью уменьшения затухания сигнала;
- установлен комплект новых генераторных ламп в передающие устройства ИРНР.

В период с января по декабрь 2020 г. в обсерватории был проведен ряд измерений в штатном и экспериментальных режимах. Эксперименты, проведенные на УСУ «ИРНР» в период 01.2020–12.2020, представлены в таблице 3.9.2.1.

Таблица 3.10.2.1. Эксперименты, проведенные на УСУ «ИРНР» в период 01.2020—12.2020

Период	Кол-во суток	Эксперимент
с 1 января	—	запуск пассивных наблюдений с возможностью сопровождения звездных радиоисточников
3–13 февраля	11	штатные наблюдения НР, стратосферное потепление
25–26 февраля	2	наблюдения НР, КО, «Горизонт»
3–5 марта	3	отладка ВУП, наблюдения НР, КО, «Горизонт»
25–26 марта	2	отладка ВУП, наблюдения НР, КО, «Горизонт»
28–30 апреля	3	отладка ВУП, наблюдения НР, КО, «Горизонт»
14–22 мая	9	отладка ВУП, наблюдения НР, КО, РБ «Фрегат», «Горизонт»
15–18 июня	4	отладка ВУП, наблюдения НР, КО, «Горизонт»
7–8 июля	2	наблюдения НР, КО, «Горизонт»
25–27 августа	3	наблюдения НР, КО, «Горизонт»
29 сентября – октября	3	наблюдения НР, КО, «Горизонт»
13–15 октября	3	отладка ВУП, DDC4, наблюдения НР, КО, «Горизонт»
27–29 октября	3	отладка ВУП, DDC4, наблюдения НР, КО, «Горизонт»

9–11 ноября	3	отладка ВУП, DDC4, наблюдения НР, КО, «Горизонт»
ноябрь–декабрь	10 (план)	отладка ВУП, DDC4, наблюдения НР, КО, «Горизонт»
Остальное время до декабря 2020 г.	—	пассивные наблюдения с сопровождением звездных радиоисточников

Общее время наблюдений в активном режиме — 61 сут (в том числе работы по проекту «Горизонт»), в остальное время наблюдения велись в пассивном режиме.

Доступ к информации для внешнего пользования осуществляется по запросу на сайт ИСЗФ СО РАН <http://rp.iszf.irk.ru:8080/iisr/>.

### 3.10.3. Большой солнечный вакуумный телескоп (рег. номер 01-29)



Рис. 3.10.3.1. Большой солнечный вакуумный телескоп

Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ) находится на территории Байкальской астрофизической обсерватории (БАО), расположенной в 70 км от г. Иркутска в п. Листвянка.

Основные научные задачи БСВТ:

- спектральные, спектрополяриметрические и фильтровые наблюдения нестационарных процессов в солнечной атмосфере с целью исследования механизмов их возникновения;
- наблюдение за солнечными образованиями в адаптивной системе коррекции изображений и разработка эффективных способов коррекции;
- наблюдение за деформациями волнового фронта по солнечным образованиям в адаптивной системе коррекции изображений;
- астроклиматические исследования и наблюдения за структурой оптической турбулентности по лучу зрения и в приземном слое атмосферы.

На протяжении 2020 г. проводились работы по модернизации аппаратуры БСВТ и совершенствованию методов наблюдений. Периоды работ приведены в табл. 3.10.3.1.

Таблица 3.10.3.1. Эксперименты, проведенные на УНУ «БСВТ» в период 01.2020—12.2020

Период	Кол-во суток	Эксперимент
15–17.04.2020	3	Настройка элементов адаптивной оптики и измерения искажений волнового фронта во втором фокусе двухзеркальной схемы адаптивной оптики

28–30.01.2020, 09–11.08.2020, 31.09.2020–02.10.2020	9	Измерения волновых фронтов в скрещенных оптических пучках по изображениям в том числе солнечного края
28–29.10.2020	2	Работы по построению оптического контура измерений оптических искажений на разных высотах, включающего себя дополнительный датчик Шака — Гартмана
01.01.2020–30.06.2020	90	Измерения средних и турбулентных характеристик флуктуаций скорости ветра, температуры и показателя преломления воздуха

Общее время наблюдений — 104 сут.

## НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### 4.1. Общие сведения

В течение 2020 г. Институтом выполнялась научно-исследовательская работа по основным научным направлениям деятельности: 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 2020 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 П.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 П.12.2. «Радиофизические методы исследования верхней атмосферы и ионосферы. Распространение радиоволн» (координатор — чл.-корр. РАН А.В. Медведев).

Проекты:

1.1.1. П.12.2.1. Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства (Рег. номер АААА-А16-116120610039-6, руководитель проекта — чл.-корр. РАН А.В. Медведев).

1.1.2. П.12.2.2. Распространение радиоволн различных диапазонов в ионосфере Земли (рег. номер АААА-А16-116120610041-9, руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.И. Куркин).

2. Приоритетное направление П.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, 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 П.16.1. «Фундаментальные проблемы процессов космической погоды, включая процессы на Солнце, межпланетной среде, магнитосфере и атмосфере Земли. Контроль и экология околоземного космического пространства» (координатор — акад. Г.А. Жеребцов).

#### Проекты:

2.1.1. П.16.1.1. Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат (рег. номер АААА-А16-116120610099-0, руководитель проекта — акад. Г.А. Жеребцов).

2.1.2. П.16.1.2. Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера — ионосфера — магнитосфера Земли (рег. номер АААА-А16-116120610104-1, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев).

2.1.3. П.16.1.3. Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве (рег. номер АААА-А16-116120610098-3, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин).

2.1.4. П.16.1.5. Развитие оптических и радиолокационных методов измерений для решения задач в области астероидно-кометной опасности и техногенного засорения космического пространства (рег. номер АААА-А16-116120610100-3, руководитель проекта — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич).

2.1.5. П.16.1.6. Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца (рег. номер АААА-А16-116120610095-2, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Д.В. Просовецкий).

2.1.6. Развитие новых методов прогноза солнечной и геомагнитной активности (рег. номер АААА-А19-119072390005-9, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич).

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

#### Проекты:

2.2.1. П.16.3.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности (рег. номер АААА-А16-116120610040-2, руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов).

2.2.2. П.16.3.2. Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере (рег. номер АААА-А16-116120610102-7, руководители проекта — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев, д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов).

2.2.3. П.16.3.3. Методы и инструменты астрофизического эксперимента (рег. номер АААА-А16-116120610096-9, руководитель проекта — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой).

2.3. Программа фундаментальных исследований СО РАН П.16.2. «Физика космических лучей и солнечно-земных связей» (координатор — д.ф.-м.н. С.А. Стародубцев).

#### Проект:

2.3.1. П.16.2.4. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей (рег. номер АААА-А16-116120610097-6, руководитель проекта — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов).

#### 3. Работы по грантам Президента Российской Федерации:

3.1. Грант Президента РФ МК-3265.2019.5) № 075-15-2019-627 «Влияние факторов космической погоды и помеховой обстановки на высокоточное позиционирование на основе ГЛОНАСС/GPS» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич).

3.2. Грант Президента РФ МК-227.2019.8) № 075-15-2019-628 «Исследование волнового фронта в широком поле зрения и разработка макета многолучевого регистратора характеристик оптических искажений в турбулентной атмосфере для адаптивных систем крупных астрономических инструментов» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев).

#### 4. Работы по грантам Российского научного фонда:

4.1. № 17-77-20005 «Создание системы сбора, обработки и машинного анализа больших объемов данных глобальных навигационных спутниковых систем для задач исследования околоземного космического пространства» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич).

4.2. № 18-12-00172 «Исследование выбросов солнечной плазмы и развитие физических основ оценки их параметров по многоволновым наблюдениям в радио- и оптическом диапазонах» (руководитель – д.ф.-м.н. В.В. Гречнев).

4.3. № 18-17-00021 «Теоретическое и экспериментальное исследование долгопериодических пульсаций электромагнитного поля Земли, вызываемых процессами в магнитосфере и солнечном ветре» (руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин).

4.4. №18-17-00042 «Волновые процессы в атмосфере Земли и их влияние на ионосферу» (руководитель — акад. Г.А. Жеребцов).

4.5. № 18-72-00144 «Регулярная диагностика магнитного поля в короне активных областей методами МГД-сейсмологии» (руководитель — к.ф.-м.н. С.А. Анфиногентов).

4.6. № 19-77-00009 «Диагностика и анализ динамики атмосферы во время внезапных стратосферных потеплений над Восточной Сибирью» (руководитель — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева).

4.7. № 19-79-00061 «Разработка научных основ и методов оптического мультисопряжения для средств адаптивной оптики крупных звездных и солнечных телескопов» (руководитель — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев).

4.8. № 20-77-00070 «Пространственные и спектральные характеристики ионосферных возмущений, связанных с развитием неустойчивостей в зимнем стратосферном циркумполярном вихре» (руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич).

5. Выполнялись 28 грантов РФФИ, из которых 7 грантов — по физике Солнца и радиоастрофизике и 21 грант — по физике околоземного космического пространства. Среди грантов — 11 молодежных и 4 — по соглашению РФФИ с зарубежными научными организациями:

5.1. РФФИ № 17-52-80064 БРИКС\_a «Супервспышки на звездах и Солнце» (руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов).

5.2. РФФИ № 17-29-05047\_офи\_м 2017 «Мониторинг и исследование характеристик атмосферного аэрозоля в Байкальском регионе в периоды пирогенных событий по данным наземных и спутниковых измерений» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. М.А. Тащилин).

5.3. РФФИ № 18-05-00437\_a «Разработка модели активной фазы суббури с учетом сильной асимметрии двух полушарий и системы мезомасштабных ячеек» (руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.В. Мишин).

5.4. РФФИ 18-05-00681\_a «Исследование динамики среднеширотной ионосферы в спокойных и возмущенных условиях на основе данных цепи ионозондов Евразийского континента» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская).

5.5. РФФИ 18-05-00594\_a «Влияние геомагнитных и атмосферных возмущений на поведение среднеширотной ионосферы и распространение радиоволн» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский).

5.6. РФФИ № 18-55-52006\_МНТ\_a\_2018 «Эмпирическое, гибридное и численное моделирование ионосферы с целью прогноза и исследования космической погоды с использованием инновационных наблюдений» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский).

5.7. РФФИ № 18-32-00540\_мол\_a\_2018 «Сейсмологическая диагностика температурного распределения в корональных структурах солнечных активных областей» (руководитель проекта — А.С. Кауфман).

5.84. РФФИ № 18-35-00218\_мол\_a\_2018 «Разработка методов мониторинга ионосферы с использованием смартфонов» (руководитель проекта — А.М. Веснин).

5.9. РФФИ № 18-35-00033\_мол\_a\_2018 «Разработка метода определения вертикальной структуры атмосферной турбулентности по данным экспериментальных исследований в рамках развития адаптивных оптических систем крупных наземных телескопов» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев).

5.10. РФФИ № 18-35-00510\_мол\_а\_2018 «Исследование вопросов использования ЛЧМ-сигналов для зондирования внешней ионосферы» (руководитель проекта — А.В. Подлесный).

5.11. РФФИ № 18-35-00130\_мол\_а\_2018 «Исследование параметров ионосферы Сибирского региона на основе базы данных ИРНР (1998–2010 гг.) и нового уравнения радиолокации с учетом рефракции и электронного рассеяния ионосферной плазмы» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев).

5.12. РФФИ № 18-35-20038\_мол\_а\_вед\_2018 «Разработка глобальных эмпирических моделей регулярной динамики и возмущенности ионосферы и плазмосферы» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич).

5.13. РФФИ № 18-32-20165\_мол\_а\_вед\_2018 «Регулярная пространственно-разрешенная радиомагнитография солнечных активных областей» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. С.А. Анфиногентов).

5.14. РФФИ № 19-05-00889\_а «Исследование перемещающихся ионосферных возмущений по данным когерентных декаметровых радаров и приемников GPS/ГЛОНАСС» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.В. Ойнац).

5.15. РФФИ № 19-05-00574\_а «Исследование информационных и энергетических аспектов амплитудно-частотной модуляции УНЧ-колебаний в системе солнечно-земных связей» (руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.С. Потапов).

5.16. РФФИ № 19-05-00665\_а «Моделирование глобальной динамики ионосферы и термосферной эмиссии во время магнитной бури 17 марта 2015 года» (руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Тащилин).

5.17. РФФИ № 19-02-00513\_а «Диагностика КВ-радиоканала методом возвратно-наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом» (руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.И. Куркин).

5.18. РФФИ № 18-32-00501\_мол\_а\_2018 «Спектроскопия и кинематика звезд типа UХ Ori на высоких галактических широтах» (руководитель проекта — к.ф.-м.н. И.С. Потравнов).

5.19. РФФИ № 19-35-90046\_Аспиранты\_2019 «Диагностика авроральных овалов в двух полушариях Земли на основе техники инверсии магнитограмм» (руководитель — д.ф.-м.н. В.В. Мишин).

5.20. РФФИ № 19-35-90093\_Аспиранты\_2019 «Исследование вариаций параметров верхней атмосферы, обусловленных распространением акустико-гравитационных волн, индуцированных различными источниками» (руководитель — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий).

5.21. РФФИ № 19-52-45002\_ИНД\_а «Многokратные обращения полярных магнитных полей Солнца и их физические причины» (руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов).

5.22. РФФИ № 20-20-32-70076\_а\_Стабильность «Каналы передачи энергии колебаний в солнечных факелах и корональных дырах» (руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Челпанов).

5.23. РФФИ № 20-45-383010\_р\_мол\_а «Разработка модели ошибки позиционирования для повышения стабильности навигационного обеспечения в Прибайкальском регионе» (руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич).

5.24. РФФИ № 20-55-53009\_ГФЕН\_а\_2020 «Взаимодействие между УНЧ-волнами и частицами в магнитосфере: экспериментальный и теоретический аспекты» (руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин).

5.25. РФФИ № 20-05-000580\_а «Разработка модели возмущений ионосферы при воздействии на нее жидкостных реактивных двигателей на основе экспериментальных данных, полученных в активных космических экспериментах “Плазма–Прогресс” и “Радар–Прогресс”» (руководитель — к.ф.-м.н. В.В. Хахинов).

5.26. РФФИ № 20-05-00212\_а «Исследование регулярных вариаций и отклика на экстремальные события в верхней атмосфере Земли по данным спектрометрических и радиофизических наблюдений» (руководитель — к.ф.-м.н. И.В. Медведева).

5.27. РФФИ № 20-15-50241 «Взаимодействие долгопериодических УНЧ-волн и заряженных частиц в магнитосфере: теория и наблюдения (обзор)» (руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин).

5.28. РФФИ № 2-15-50079 «Космическая погода: факторы риска для глобальных навигационных спутниковых систем» (руководитель — д.ф.-м.н. В.В. Демьянов).

6. Выполнялись:

6.1. Работы по четырем госконтрактам в рамках работ по созданию Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук: №100-06/2018-44 от 28.11.2018, №123-06/2018-44 от 19.12.2018, №99-06/2018-44 от 19.11.2018, №122-06/2018-44 от 19.12.2018.

6.2. Прикладные работы по 16 темам в рамках хозяйственных договоров.

#### **4.2. Деятельность Ученого совета**

Состав Ученого совета Института был утвержден на конференции научных работников Института 19.11.2015 г. В составе совета 31 чел.

В 2020 г. было проведено 8 заседаний Ученого совета, где заслушивались научные сообщения, рассматривались планы и отчеты научно-исследовательских работ, проведения и участия в научных мероприятиях, утверждались темы диссертационных работ, научные руководители, отчеты по работе аспирантуры и др.

#### **4.3. Деятельность диссертационного совета**

Диссертационный совет Д.003.034.01 создан при Институте солнечно-земной физики СО РАН (г. Иркутск) приказом Рособнадзора Министерства образования и науки РФ от 02.11.2007 г. № 2249-1351, и его срок полномочий продлен приказом Рособнадзора Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 г. №105нк.

Срок полномочий совета установлен на период действия «Номенклатуры специальностей научных работников», утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 № 59.

Диссертационному совету Д.003.034.01 разрешено принимать к защите диссертации по специальностям:

01.03.03 — «Физика Солнца» по физико-математическим наукам;

01.04.03 — «Радиофизика» по физико-математическим наукам;

25.00.29 — «Физика атмосферы и гидросферы» по физико-математическим наукам.

В течение 2020 г. проведено 7 заседаний совета и защищены 3 кандидатские диссертации:

1. 4 февраля 2020 г. — Кауфман А.С. Диагностика атмосферы солнечных пятен по наблюдениям трехминутных колебаний. Специальность 01.03.03 – физика Солнца. Кандидатская диссертация.

2. 3 марта 2020 г. — Костарев Д.В. Кинетическая теория азимутально-мелкомасштабных компрессионных волн в магнитосферной плазме. Специальность 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы. Кандидатская диссертация.

3. 3 марта 2020 г. — Челпанов М.А. Пространственно-временная структура ультранизкочастотных волн, наблюдаемых в ночной ионосфере с помощью Екатеринбургского радара когерентного рассеяния. Специальность 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы. Кандидатская диссертация.

#### **4.4. Международное сотрудничество**

В связи со сложившейся эпидемиологической ситуацией по коронавирусной инфекции в отчетном году состоялось 3 выезда сотрудников ИСЗФ СО РАН в Вели-

кобританию, США и Францию. Сотрудники института приняли участие в 6 зарубежных научных мероприятиях (см. список зарубежных международных мероприятий), в том числе в формате онлайн-видеоконференций.

Международные проекты:

Инициативный научный проект РФФИ — организации-участники Рамочной программы БРИКС в сфере науки, технологий и инноваций № 17-52-80064-БРИКС\_а «Супервспышки на звездах и Солнце». Координаторы — Кузнецов А.А., ИСЗФ СО РАН; Накаряков В.М., ГАО РАН, г. Санкт-Петербург; профессор Бо Ли, Шаньдунский университет (264200, пров. Шаньдун, г. Вэйхай, р-н Хуаньцуй, ул. Вэньхуа, 180, Китай); профессор Дипанкар Банержди, Индийский институт астрофизики (Индийский технологический университет) (Корамангала, г. Бангалор, 560034, Индия). Сроки: 2017–2020 гг.

Научный проект PWING («Study of dynamical variation of Particles and Waves in the INner magnetosphere using Ground-based network observations» («Исследование динамических вариаций поведения частиц и волн во внутренней магнитосфере с использованием наблюдений сети наземных станций»)) при поддержке Японского общества продвижения науки. Основной координатор — Кадзуо Шиокава, Институт исследований околоземного космического пространства, Университет г. Нагоя (Фуру-тё, Чикуса-ку, Нагоя, Аичи 464-8601, Япония). Сроки: 2016–2021 гг.

Инициативный научный проект РФФИ — Лондонское королевское общество № 17-52-10001 КО\_а «Нестационарные свойства квазипериодических пульсаций как основа диагностики механизмов вспышечного энерговыделения». Координаторы — Куприянова Е.Г., ГАО РАН, г. Санкт-Петербург; Энн-Мари Брумхолл, Университет Уорика, (Ковентри, CV4 7AL, Великобритания). Сроки: 2018–2020 гг.

Инициативный научный проект РФФИ — Министерство науки, технологии и окружающей среды Республики Куба № 18-52-34004 «Разработка проекта реконструкции Гаванской радиоастрономической станции для мониторинга солнечной активности и фундаментальных исследований Солнца». Координаторы — Богод В.М., САО РАН, п. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская Республика; Омар Понс Родригез, Институт геофизики и астрономии Кубы (Кайе 212 № 2906, Репарто Ла Коронела, Ла Лиса, Гавана, Куба). Сроки: 2019–2021 гг.

Инициативный научный проект РФФИ — Государственный фонд естественных наук Китая (ГФЕН) №19-52-53045 ГФЕН-а «Глобальные структуры магнитной спиральности и циклическая активность Солнца за десятилетия». Координаторы — Кузаян К.М., ИЗМИРАН, г. Москва; Сю Хайчин, Национальные астрономические обсерватории КАН (20А улица Датун, район Чаоян, Пекин, 100012, Китай). Сроки: 2019–2020 гг.

Инициативный научный проект РФФИ — Министерство по науке и технологиям Тайваня (конкурс «МНТ\_а» 2018, № проекта 18-55-52006) «Эмпирическое, гибридное и численное моделирование ионосферы с целью прогноза и исследования космической погоды с использованием инновационных наблюдений». Координаторы — заведующий лабораторией, к.ф.-м.н. Ратовский К.Г., ИСЗФ СО РАН, Лорэн Чээвэй Чан, профессор, Национальный центральный университет Тайваня (300 Джунгда Роуд, Джунгли, г. Таоюань, 32001, Тайвань). Сроки: 2018–2020.

Инициативный научный проект РФФИ № 19-52-45002 Инд\_а «Многokратные обращения полярных магнитных полей Солнца и их физические причины». Координаторы — Мордвинов А.В., ИСЗФ СО РАН; Бидья Бинэй Карак (Индийский технологический институт, Уттар-Прадеш 221005, Варанаси, Индия). Сроки: 2019–2021.

Инициативный научный РФФИ — Государственный фонд естественных наук Китая (ГФЕН) № 20-55-53009 «Взаимодействие между УНЧ-волнами и частицами в магнитосфере: экспериментальный и теоретический аспекты». Координаторы — Климущкин Д.Ю., ИСЗФ СО РАН; Цюган Цзун, профессор, Пекинский университет (5 Ихэюань Роуд, Хайдянь, Пекин, 100871, Китай). Сроки: 2020–2021 гг.

Участие магнитной обсерватории «Иркутск» ИСЗФ СО РАН в работе Международной сети магнитных обсерваторий INTERMAGNET. Координаторы —Потапов А.С., ИСЗФ СО РАН; председатель Исполнительного комитета INTERMAGNET д-р Алан Томсон (Британская геологическая служба, Великобритания). Сроки: 1996–2024 гг.

*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 (НЦКИ КАН)).

В рамках работы Центра в 2020 г. проводились совместные научно-исследовательские работы:

- по проектам РФФИ №17-52-80064-БРИКС\_a, №19-52-53045 ГФЕН\_a и №20-55-53009 ГФЕН\_a;

- в рамках «Программы Российско-Китайского сотрудничества в области космоса на 2018–2022 годы» по теме «Наблюдение и исследование малоразмерного космического мусора на околополярных орбитах с использованием информации системы EISCAT и радара некогерентного рассеяния обсерватории радиофизической диагностики атмосферы ИСЗФ СО РАН» совместно с Китайским научно-исследовательским институтом распространения радиоволн (CRIRP).

*Участие сотрудников ИСЗФ СО РАН в работе Международных организаций*

Сотрудники ИСЗФ СО РАН участвовали в работе следующих международных организаций:

1. Американский геофизический союз (American Geophysical Union — AGU) — 3 чел.
2. Сообщество европейских солнечных радиоастрономов (Community of European Solar Radio Astronomers – CESRA) — 4 чел.
3. Международная общественная организация «Астрономическое Общество» (Eurasian Astronomical Society — EAAS) – 16 чел.
4. Европейское астрономическое сообщество (European Astronomical Society — EAS) — 9 чел.
5. Европейский союз наук о Земле (European Geosciences Union — EGU) — 1 чел.
6. Международный астрономический союз (International Astronomical Union — IAU) — 9 чел.
7. Международный проект «Международная справочная модель ионосферы» (International Reference Ionosphere (IRI) Project) — 1 чел.
8. Международная инициатива по космической погоде (International Space Weather Initiative — ISWI) — 1 чел.
9. Международная общественная организация «Оптическое общество им. Д.С. Рождественского» (Optical society named after D.S. Rozhdestvensky) — 1 чел.
10. Международный комитет по солнечно-земной физике (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics — SCOSTEP) — 2 чел.
11. Международная программа «Жизнь со звездой» (International Living with a Star) — 1 чел.
12. Комитет по космическим исследованиям (Committee on Space Research — COSPAR) – 4 чел.
13. Переменность Солнца и его воздействие на Землю (Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact — VarSITI) — 22 чел.
14. Сеть по определению изменений в мезопаузе (Network for the Detection of Mesopause Change — NDMC) — 1 чел.
15. Азиатско-Тихоокеанское геофизическое общество (Asia Oceania Geosciences Society — AOGS) — 1 чел.

16. Международный геодезический и геофизический союз (International Union of Geodesy and Geophysics — IUGG) — 1 чел.

17. Международный союз радионаук (Union Radio-Scientifique Internationale — URSI) — 1 чел.

#### **4.5. Издательская деятельность**

С 2015 г. Институт издает журнал «Солнечно-земная физика» как продолжение сборника научных трудов, издаваемого с 1963 г.

Учредителями журнала являются Институт солнечно-земной физики СО РАН и Сибирское отделение РАН. Главный редактор — акад. РАН Г.А. Жеребцов, заместители — чл.-корр. РАН А.В. Степанов (ГАО РАН) и д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

В состав редакционной коллегии в 2020 г. входили 10 сотрудников Института, 12 представителей других институтов и 3 представителя зарубежных организаций. Каждую из двух научных специальностей журнала (01.00.00 — физико-математические науки и 25.00.00 — науки о Земле) в составе редколлегии представляют не менее 10 докторов наук.

В 2020 г. состоялось четыре заседания редколлегии, на которых обсуждалось содержание каждого из выпусков журнала, в том числе специального выпуска журнала, посвященного созданию на базе Института солнечно-земной физики СО РАН Национального гелиогеофизического комплекса (НГК) РАН. Члены коллегии обменивались мнениями по различным спорным вопросам, касающимся поступивших в редакцию рукописей, намечали планы выпуска следующих номеров.

Журнал включен в международные базы и системы научного цитирования WoS (ESCI), RSCI, Scopus, NASA Astrophysics Data System (ADS), Directory of Open Access Journals (DOAJ), CrossRef и отечественную базу РИНЦ. Двухлетний импакт-фактор РИНЦ с учетом цитирования переводной версии составляет 0.72.

Журнал издается в русско- и англоязычных версиях. В 2020 г. изданы по 4 номера тома № 6 в обеих версиях, в которых опубликовано 47 научных статей по следующим аспектам солнечно-земных связей:

- физика геоэффективных явлений на Солнце;
- процессы в солнечном ветре;
- взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой;
- геомагнитные возмущения и волны;
- процессы в верхней атмосфере и ионосфере;
- космическая погода, ее мониторинг и прогноз;
- солнечно-климатические связи.

В 2020 г. Институт опубликовал «Отчет о научной и научно-организационной деятельности в 2019 году».

#### **4.6. Работа библиотеки**

Работа библиотеки во второй половине 2020 г. была осложнена пандемией коронавируса и переводом сотрудников на дистанционную форму работы. В связи с этим статистика физических посещений библиотеки значительно сократилось.

Тем не менее, работа велась весь год по всем обязательным направлениям.

За прошедший год были добавлены 270 новых записей в электронный каталог «Публикации сотрудников Института», и общее количество отраженных в каталоге публикаций достигло 18 464 единиц.

В БД «Электронные книги» прибавилось 24 новых наименования книг по тематике исследований Института.

По запросам сотрудников скачано 314 статей, оцифровано 5 книг и 3 статьи из журналов.

Выполнено 15 заказов по МБА из удаленных источников (библиотеки других городов) для сотрудников ИСЗФ СО РАН и других институтов. Продолжалась плановая работа по переводу в электронный вид статей из журнала «Геомагнетизм и аэрномия», из которого было отсканировано 60 статей.

Своевременно в раздел «Отечественные журналы» электронного каталога библиотеки вводится содержание поступающих выпусков журналов «Геомагнетизм и аэрномия», «Астрономический журнал», «Письма в «Астрономический журнал». Наполняемость электронной библиотеки Института достигла 88 Гб.

За 2020 г. библиотечный фонд пополнялся только книгами, полученными в дар от сотрудников. Отечественные журналы поступали в течение года по подписке, но из-за недостаточного финансирования список их в очередной раз был сокращен еще на 2 издания. Информация о новых поступлениях ежеквартально размещалась в Едином электронном каталоге UNIT на базе библиотеки ИНЦ СО РАН.

Подписка на зарубежные издательства Elsevier, Springer, IOP, Wiley осуществлялась на основе заключенных лицензионных договоров с ГПНТБ России и Минобрнауки. Это позволило работникам Института практически без задержки получать полные тексты статей из иностранных журналов данных издательств в электронном виде. Также заключались договора на тестовые доступы к ресурсам различных зарубежных издательств, что давало возможность нашим сотрудникам быть в курсе научных новинок по различным отраслям знаний.

Благодаря бесперебойной работе интернет-версии ИРБИСА пользователи электронной библиотеки активно работают с электронными каталогами библиотеки ИСЗФ СО РАН, объединенным каталогом библиотек ИНЦ СО РАН и могут заказывать литературу онлайн, что при дистанционной форме работы в период пандемии стало наиболее актуальным.

В читальном зале библиотеки согласно расписанию проходят занятия с аспирантами и магистрантами.

Проведены 5 тематических выставок:

- «Из истории праздника» ко Дню науки;
- «Журналы для женщин» ко Дню 8 Марта;
- «И память книга оживит» ко Дню Победы;
- «Книги-юбилеры 2020 года» — мини-выставка;
- «Книга под ёлкой. Новый год и Рождество в произведениях русских поэтов и писателей».

1–2 раза в месяц обновляются выставки новых поступлений периодики. Выполнено 13 объемных справок по запросам руководства Института с использованием зарубежных баз данных WOS, SCOPUS и отечественной БД РИНЦ.

#### **4.7. Работа с вузами**

Институт сотрудничает с ИрГУ (ФГБОУ ВПО Иркутский государственный университет), ИрНТУ (ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет), БГУ (Байкальский государственный университет), ИРГУПС (Иркутский государственный институт путей сообщения), Иркутским педагогическим университетом, Иркутским филиалом Института гражданской авиации, Поволжским государственным технологическим университетом, Московским физико-техническим институтом МГУ и др.

Совместные структуры с вузами Иркутска:

- 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.);

- Совместная научно-исследовательская лаборатория «Плазменная радиофизика» (ИСЗФ СО РАН и ФГБОУ ВО Иркутский государственный технический университет, соглашение о сотрудничестве от 20 июля 2010 г., договор о сотрудничестве от 30 ноября 2011 г.);

- Базовая кафедра ИСЗФ СО РАН — кафедра общей и космической физики на физическом факультете ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет (протокол Ученого совета ФГБОУ ВПО ИГУ № 10 от 27.04.2012 г.).

- Базовая кафедра ИСЗФ СО РАН — кафедра метеорологии и физики околоземного космического пространства на географическом факультете ФГБОУ ВО Иркутского государственного университета (протокол Ученого совета ФГБОУ ВПО ИГУ № 3 от 15.04.2019 г.).

Активно используется инструментальная база Института. В обсерваториях Института ежегодно проходят практику студенты ИГУ, ИрГТУ, БурГУ, проводится популяризаторская деятельность. В 2020 г. были проведено более 440 экскурсий в обсерватории Института.

Ученые Института совмещают свою научную деятельность с преподавательской работой в вузах. Преподавательской деятельностью в 2020 г. занимался 41 сотрудник, включая 22 сотрудника, проводивших работу со школьниками.

В 2020 г. 17 студентов вузов прошли производственную практику и выполнили в Институте курсовые и дипломные работы.

#### **4.8. 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, которая проводится сотрудниками Института с целью привлечения в Институт молодых перспективных научных кадров. Организационная структура НОЦ включает заведующего, секретаря и научных 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.

Работа со школьниками занимает большое место в работе НОЦ. В феврале 2020 г. в рамках празднования дней науки в ИСЗФ силами НОЦ был проведен брейн-ринг — викторина по астрономии и физике между командами общеобразовательных учреждений г. Иркутска.

Сотрудники ИСЗФ приняли активное участие в работе разнообразных научно-образовательных мероприятий, проводимых в г. Иркутске, включая Дни российской науки (февраль 2020 г.). В рамках этих мероприятий для школьников и жителей города в Областной библиотеке им. Молчанова-Сибирского сотрудники ИСЗФ выступили с научно-популярными лекциями (к.ф.-м.н. А.А. Непомнящих, к.ф.-м.н. М.А. Челпанов, к.ф.-м.н. Костарев Д.В.), и провели «Открытую лабораторную для детей» (к.ф.-м.н. Михайлова О.С.).

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 2020 г. ведущие ученые Института прочитали курсы лекций по физике Солнца, плазмы, ионосферы и магнитосферы. Проведены также следующие мероприятия:

- Лекции и практикум в рамках курса «Радиофизические исследования ионосферы» и «Экспериментальные методы в геофизике» (н.с. Веснин А.М., зав. лаб. Ратовский К.Г., зав. лаб. Васильев Р.В., инженер-исследователь Ташлыков В.П., Рубцов А.В., к.ф.-м.н. Ойнац А.В.);

- Производственная практика студентов физического фак-та ИГУ (н.с. Веснин А.М.);

- Учебная практика для студентов 2 курса «Радиофизики» (Анфиногентов С.А., Токарева Л.С., Серебренникова С.А., Меркулов М.А., Ратовский К.Г., Давыдова О.А.).
- Спец. курс «Физика ближнего космоса» (зав. лаб., к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю.);
- Курс лекций и практических занятий «Обработка сигналов и изображений» (с.н.с. Кочанов А.А.).

#### 4.9. Работа музея ИСЗФ СО РАН

Музей ИСЗФ СО РАН образован в 2010 г. в год 50-летнего юбилея Института.

Целью создания музея является сохранение исторических архивов, проведение научно-просветительской и учебно-образовательной деятельности.

На сегодняшний день экспозиция музея включает более 370 единиц хранения.

В 2020 г. музейная библиотека пополнилась новыми экземплярами научно популярной литературы, в том числе учебником «Астрономия» (авторы С.А. Язев, Р.Т. Сотникова, Д.Ю. Климушкин) и несколькими редкими изданиями прошлого столетия.

Кроме того, в цехе Института изготовлено новое музейное оборудование — 15 выставочных стендов для расширения экспозиции в рамках празднования 60-летия ИСЗФ СО РАН.

Работу по поиску новых экспонатов, созданию и реставрации альбомов, поиску фотоматериалов и созданию постеров о ветеранах Института, проработавших 50 и более лет, музей проводит совместно с Советом научной молодежи и профкомом Института. По традиции в День науки (7 февраля) в выставочном зале музея была открыта выставка «СИБИЗМИР — это молодость наша. СИБИЗМИР — это наша судьба».

Традиционно музей совместно с профкомом и дирекцией Института принимал участие в поздравлении ветеранов с праздником Победы, в том числе ветерана Великой Отечественной войны Мишина Вилена Моисеевича — доктора физико-математических наук, профессора, крупного ученого в области солнечно-земной физики, основателя сибирской научной школы исследования переменного геомагнитного поля и магнитосферы Земли.

В 2020 г. исполнилось 75 лет со дня Победы в Великой Отечественной войне. В ознаменование этого праздника на сайт Института (раздел «Музей») помещена выставка-альбом «К 75-летию Победы» (количество просмотров более 750).

В юбилейный для Института 2020 г. мы организовали онлайн-выставку «Институту 60». К первому альбому этой выставки отмечено более 670 обращений. Идет подготовка второго онлайн-альбома. Кроме того, подготовлено к печати несколько стендов (150×70 см), отражающих современное состояние науки в отделах и лабораториях Института.

В рамках проведения мероприятий Года памяти и славы в честь 75-летия Победы проведены совместные с библиотекой им. Молчанова-Сибирского мероприятия — онлайн-лекции для населения «Иркутский радар на службе Родине и науке» (лектор — с.н.с., к.ф.-м.н. В.П. Лебедев), «Большой солнечный вакуумный телескоп Байкальской астрофизической обсерватории: изучение Солнца в Сибири» (н.с., к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев).

Музей не прерывает связи с Сибирской ассоциацией интерпретации, которая работает в ИФИЯМ ИГУ. Мы принимаем онлайн-участие в семинарах и занятиях, в том числе международных по теме «Интерпретация природного и культурного наследия».

Из-за эпидемиологической ситуации в музее проведено минимальное число экскурсий (7–8) для школьников и студентов ИГУ, а также гостей из Северобайкальска и Усть-Илимска. Записи о впечатлениях оставлены в книге отзывов.

Кроме экскурсий «Знакомство с историей» и «Основные научные направления ИСЗФ СО РАН», составлен и дорабатывается текст новой экскурсии «Загадки и удивительные факты СИБИЗМИРА».

#### 4.10. Работа Совета научной молодежи Института

Новый состав Совета научной молодежи был избран на общем собрании научной молодежи Института 10.12.2018 г. В состав совета вошли 11 человек (с марта 2020 г. — 10 человек), председатель — к.ф.-м.н. Михайлова О.С..

В 2020 г. состоялось 6 заседаний, где обсуждались организация и проведение мероприятий, рассматривались кандидатуры для участия в конкурсах и грантах, проводились конкурсы на поддержку научных командировок и оплаты публикаций молодых ученых ИСЗФ СО РАН.

Были рассмотрены и выдвинуты две кандидатуры на соискание стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики.

Совет научной молодежи принимал участие в организации следующих мероприятий:

- В рамках дней науки СММ совместно с НОЦ ИСЗФ СО РАН был подготовлен и проведен брейн-ринг для школьников по физике и астрономии. В 2020 г. в нем приняли участие учащиеся Ангарского лицея № 1 и лицея ИГУ г. Иркутска. СММ были проведены вечер настольных игр и квиз (викторина) для молодых ученых.

- На постоянной основе СММ проводит рассылку информации по электронной почте о новых конкурсах на получение грантов, стипендий и премий для молодых ученых. Регулярно рассылается информация о проводимых научных российских и международных конференциях, а также проводимых спортивных мероприятиях. СММ поддерживает информационный стенд и сайт с актуальной информацией для молодых сотрудников Института.

- Члены СММ участвовали в работе конференций в качестве членов оргкомитета и руководителей работ школьников X Межрегиональной конференции школьников «Человек и космос»; Всероссийской конференции «Современные инструменты и методы исследований в солнечно-земной физике»; XV Российско-Китайской конференции по космической погоде. СММ осуществлял информационную поддержку конференций, размещая информацию об этих конференциях на информационном стенде и рассылая информацию молодым сотрудникам Института по электронной почте.

- СММ проводил ежегодный конкурс поддержки научных командировок молодых сотрудников ИСЗФ СО РАН. Целью конкурса является помощь молодежи в представлении своих работ на конференциях, взаимодействие молодых ученых с иногородними коллегами, налаживание научных связей, обучение молодежи поиску альтернативных (внебюджетных) источников финансирования своих исследований. В рамках конкурса в 2020 г. СММ поддержал 2 командировки молодых сотрудников Института.

- В 2020 г. организован новый конкурс на поддержку оплаты научных публикаций ученых ИСЗФ СО РАН. На конкурсной основе была поддержана 1 публикация.

- Проведен цикл молодежных семинаров на английском языке, направленных на обучение молодых сотрудников выступлению перед аудиторией и практику английского языка.

- Прочитаны две научно-популярных лекции в государственной универсальной научной библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского, и одна научно-популярная лекция в научной библиотеке им. В.Г. Распутина.

- Прочитан курс научно-популярных лекций по солнечно-земной физике для учащихся МБОУ «Лицей № 2» г. Братска.

- Осуществляется поощрение лучших аспирантов по итогам годовой аттестации. СММ ежегодно проводит конкурс премий аспирантов, основная задача которого состоит в повышении качества работы аспирантов.

#### 4.11 . Проведение научных мероприятий

С 6 по 10 июля 2020 г. в режиме онлайн-видеоконференции прошел XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Организаторы — Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Институт динамики геосфер им. акад. М.А. Садовского РАН и Институт солнечно-земной физики СО РАН. В рамках симпозиума работало пять конференций:

- А. Молекулярная спектроскопия и атмосферные радиационные процессы

Тематика конференции:

Молекулярная спектроскопия атмосферных газов. Поглощение радиации в атмосфере и океане. Радиационные процессы и проблемы климата. Модели и базы данных для задач оптики и физики атмосферы.

- В. Распространение излучения в атмосфере и океане

Тематика конференции:

Распространение волн в случайно-неоднородных средах. Адаптивная оптика. Нелинейные эффекты при распространении волн в атмосфере и водных средах. Многократное рассеяние. Оптическая связь. Перенос и обработка изображений. Оценка достоверности метрологических измерений. Прикладные вопросы применения оптических систем и лазеров.

- С. Исследование атмосферы и океана оптическими методами

Тематика конференции:

Оптические и микрофизические свойства атмосферного аэрозоля и взвесей в водных средах. Элементный и ионный состав примесей в приземном слое атмосферы. Перенос и трансформация аэрозольных и газовых компонент в атмосфере. Лазерное и акустическое зондирование атмосферы и океана. Оптико-электронные комплексы для задач оптики и физики атмосферы. Мониторинг водных объектов по данным дистанционного зондирования. Диагностика растительных биосистем и биологических объектов. Активные съемочные системы для изучения атмосферы и океана.

- D. Физика тропосферы

Тематика конференции:

Структура и динамика приземной атмосферы. Динамика атмосферы и климат Азиатского региона. Результаты мониторинга тропосферы по данным обработки измерений с помощью Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Радиофизические и оптические методы диагностики атмосферы Земли и подстилающей поверхности. Моделирование атмосферных явлений с использованием интерактивных картографических сервисов. Прогноз изменений климата.

- E. Физика средней и верхней атмосферы

Тематика конференции:

Структура и динамика средней и верхней атмосферы. Физические процессы и явления в термосфере и ионосфере Земли. Климатологические исследования верхней атмосферы. Взаимосвязь процессов в литосфере, атмосфере, ионосфере, магнитосфере и на Солнце. Развитие методов мониторинга верхней атмосферы с использованием ГНСС. Изменения глобального гравитационного поля Земли. Использование ГНСС для развития эмпирических и физических моделей.

С 25 по 27 ноября 2020 г. в режиме онлайн-видеоконференции прошла III Всероссийская научно-практическая конференция «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России». Организатор — географический факультет Иркутского государственного университета при поддержке Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, НПЦ «Мэп Мейкер» и Института солнечно-земной физики СО РАН. Конференция проводилась по следующим научным направлениям:

1. Погода и климат. Мониторинг и прогнозирование;

2. Мониторинг, моделирование и прогнозирование состояния водных объектов суши;
  3. Опасные гидрометеорологические явления и процессы;
  4. Влияние климатических изменений на трансформацию природных и социально-экономических условий;
  5. Современные информационные системы в гидрометеорологии;
  6. Региональные особенности атмосферных процессов;
  7. Современные методы и средства гидрометеорологических наблюдений;
  8. Актуальные проблемы подготовки кадров в сфере гидрометеорологии.
- В рамках конференции были проведены круглые столы по темам:
1. Проблемы изучения Арктики и Антарктики;
  2. Космическая погода: мониторинг и прогноз.

#### **4.12. Участие в выставках**

На постоянно действующей выставке разработок Сибирского отделения в Новосибирске демонстрируются планшеты Института:

- Сибирский радиогелиограф;
- Иркутский радар некогерентного рассеяния ИСЗФ СО РАН;
- Астрономический комплекс ИСЗФ СО РАН;
- Экспериментальный гелиогеофизический комплекс обсерваторий ИСЗФ СО РАН;

На портале Объединенного ученого совета по физическим наукам СО РАН размещены материалы по разработкам Института:

- Автоматическая обработка и интерпретация ионограмм наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом;
- Ионозонд вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом «Ионозонд-МС»;
- Диагностический комплекс на базе многофункционального ионозонда с использованием сигналов с линейной модуляцией частоты.

#### **4.13. Участие в научных мероприятиях**

В 2020 г. сотрудники Института участвовали в следующих российских и международных, в том числе зарубежных, научных мероприятиях.

##### **Российские:**

1. XV ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», 10–14 февраля 2020 г., Россия, г. Москва.
2. 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений», 10–13 марта 2020 г., Россия, г. Апатиты.
3. XVIII Всероссийская научно-практическая конференция «Обучение физике и астрономии в общем и профессиональном образовании», 24–26 марта 2020 г., Россия, г. Иркутск.
4. XXIV Всероссийская ежегодная конференция «Солнечная и солнечно-земная физика-2020», октябрь 2020 г., Россия, г. Санкт-Петербург.
5. Всероссийская конференция «Турбулентность, динамика атмосферы и климата» памяти А.М. Обухова, 10–12 ноября 2020 г., Россия, г. Москва.
6. 18-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 16–20 ноября 2020 г., Россия, г. Москва.
7. III Всероссийская научно-практическая конференция «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России», 25–27 ноября 2020 г., Россия, г. Иркутск, онлайн.

8. VII Всероссийская микроволновая конференция IEEE Conference #50626, 25–27 ноября 2020 г., Россия, г. Москва.

#### **Международные:**

1. Theo Murphy International Scientific Meeting “High resolution wave dynamics in the lower solar atmosphere”, 10–11 февраля 2020 г., г. Ньюпорт Пагнелл, Великобритания.
2. EGU General Assembly 2020, 4–8 мая 2020 г., онлайн.
3. Multidisciplinary Youth Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century», 29 мая 2020 г., г. Иркутск, Россия, онлайн.
4. XIV Международная школа молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника, 1–5 июля 2020 г., г. Томск, Россия, заочное участие.
5. XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосфер», 6–10 июля 2020 г., онлайн.
6. JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 12–16 июля 2020 г., онлайн.
7. URSI GASS 2020, 29 августа – 5 сентября 2020 г., г. Рим, Италия, заочное участие.
8. XI Международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений», 22–25 сентября 2020 г., с. Паратунка, Камчатский край, Россия.
9. European Space Weather Symposium, 2–6 ноября 2020 г., онлайн.
10. The 3rd International Electronic Conference on Atmospheric Sciences ECAS-2020, 16–30 ноября 2020, онлайн.

## **5. ПУБЛИКАЦИИ**

### **5.1. Статьи в отечественных журналах, включая переводные**

1. Алсаткин С.С., Медведев А.В., Ратовский К.Г. Особенности метода восстановления  $N_e$  на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 1. С. 97–110. DOI: 10.12737/szf-61202009.
2. Алтынцев А.Т., Лесовой С.В., Глоба М.В., Губин А.В., Кочанов А.А., Гречнев В.В., Иванов Е.Ф., Кобец В.С., Мешалкина Н.С., Муратов А.А., Просовецкий Д.В., Мышьяков И.И., Уралов А.М., Федотова А.Ю. Многоволновый Сибирский радиогелиограф // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 37–50. DOI: 10.12737/szf-62202003.
3. Афанасьев В.Л., Додонов С.Н., Сюняев Р.А. Спектроскопические измерения красных смещений скоплений галактик, обнаруженных по данным обзора обсерватории им. Планка // Письма в АЖ. 2020. Т. 46, № 2. С. 79–91. DOI: 10.31857/S0320010820020047.
4. Афанасьев Н.Т., Чудаев С.О. Диагностика стохастического ионосферного канала в декаметровом диапазоне радиоволн. Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 4. С. 77–85. DOI: 10.12737/szf-64202010.
5. Белкин С.О., Позаненко А.С., Мазаева Е.Д., Вольнова А.А., Минаев П.Ю., Томинага Н., Гребенев С.А., Человеков И.В., Бакли Д., Блинников С.И., Вольвач А.Е., Вольвач Л.Н., Инасаридзе Р.Я., Клунко Е.В., Молотов И.Е., Рева И.В., Румянцев В.В., Честнов Д.Н. Многоволновые наблюдения гамма-всплеска GRB 181201A и обнаружение связанной с ним сверхновой // Письма в АЖ. 2020. Т. 46, № 12. С. 839–867. DOI: 10.31857/S0320010820120013.
6. Бернгардт О.И., Куркин В.И., Кушнарев Д.С., Гркович К.В., Федоров Р.Р., Орлов А.И., Харченко В.В. Декаметровые радары ИСЗФ СО РАН // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 79–92. DOI: 10.12737/szf-62202006.
7. Боровик А.В., Мордвинов А.В., Голубева Е.М., Жданов А.А. Реструктуризация магнитных полей Солнца и центры вспышечной активности в цикле 24 // Астрон. журнал. 2020. Т. 97, № 6. С. 521–528. DOI: 10.31857/S0004629920070014.

8. Боровик А.В., Жданов А.А. Солнечные вспышки малой мощности в оптическом и рентгеновском диапазонах длин волн в 21–24-м солнечных циклах // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 3. С. 18–25. DOI: 10.12737/szf-63202002.
9. Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Еселевич В.Г., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Сравнение магнитных и плазменных овершутов межпланетных ударных волн // Косм. исслед. 2020. Т. 58, № 6. С. 485–494. DOI: 10.31857/S0023420620060011.
10. Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Зоркальцева О.С., Комарова Е.С., Медведева И.В., Михалев А.В., Подлесный С.В., Ратовский К.Г., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Ткачев И.Д. Научные задачи оптических инструментов национального гелиогеофизического комплекса // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 105–122. DOI: 10.12737/szf-62202008.
11. Васильев Р.В., Сетов А.Г., Фролов В.Л., Ратовский К.Г., Белецкий А.Б., Ойнац А.В., Ясюкевич Ю.В., Медведев А.В. Современный нагревный стенд для исследования ионосферы средних широт // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 61–78. DOI: 10.12737/szf-62202005.
12. Головкин А.А. Возможность диагностики начала 25-го солнечного цикла на основе его предвестников на средних гелиоширотах // Геомагнетизм и аэрономия. 2020. Т. 60, № 6. С. 695–703. DOI: 10.31857/S001679402006005X.
13. Григорьев В.М., Демидов М.Л., Колобов Д.Ю., Пуляев В.А., Скоморовский В.И., Чупраков С.А. Проект крупного солнечного телескопа с диаметром зеркала 3 м // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 19–36. DOI: 10.12737/szf-62202002.
14. Григорьев В.М., Ермакова Л.В., Хлыстова А.И. Асимметрия в появлении лидирующей и последующей полярностей в фотосферном магнитном поле на ранней стадии образования активной области // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 4. С. 3–9. DOI: 10.12737/szf-64202001.
15. Григорьев В.М., Головкин А.А. Переменная звезда Солнце и его магнитное поле // Земля и Вселенная. 2020. № 4. С. 45–58. DOI: 10.7868/S0044394820040052.
16. Данилова О.А., Птицына Н.Г., Тясто М.И., Сдобнов В.Е. Возмущенная магнитосфера 7–8 ноября 2004 г. и вариации жесткости обрезания космических лучей: широтные эффекты // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 3. С. 40–47. DOI: 10.12737/szf-63202005.
17. Еселевич В.Г., Еселевич М.В. Особенности начальной стадии формирования быстрого коронального выброса массы 25 февраля 2014 г. // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 3. С. 3–17. DOI: 10.12737/szf-63202001.
18. Жеребцов Г.А. Комплекс гелиогеофизических инструментов нового поколения // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 6–18. DOI: 10.12737/szf-62202001.
19. Жукова А.В., Соколов Д.Д., Абраменко В.И., Хлыстова А.И. Циклические вариации, магнитная морфология и сложность активных областей в 23-м и 24-м солнечных циклах // Геомагнетизм и аэрономия. 2020. Т. 60, № 6. С. 683–694. DOI: 10.31857/S0016794020060164.
20. Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф., Хамитов И.М., Хорунжев Г.А., Ляпин А.Р., Еселевич М.В., Афанасьев В.Л., Додонов С.Н., Сюняев Р.А. Спектроскопические изменения красных смещений скоплений галактик, обнаруженные по данным обзора обсерватории им. Планка // Письма в АЖ. 2020. Т. 46, № 2. С. 79–91. DOI: 10.31857/S0320010820020047.
21. Затолокин Д.А., Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С., Данильчук Е.И. Применение ионосферных моделей ГЛОНАСС, GPS, GEMTEC, BDGIM для коррекции одночастотных спутниковых навигационных измерений // Актуальные проблемы науки Прибайкалья: сб. статей. Иркутск: ИГУ, 2020. С. 253–256.
22. Зоркальцева О.С., Мордвинов В.И., Погорельцев А.И., Домбровская Н.С. Динамика среднезональных характеристик циркуляции в средней атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56, № 4. С. 433–445. DOI: 10.31857/S0002351520040112.

23. Исаева Е.С., Томозов В.М., Язев С.А. Рентгеновские вспышки и комплексы активности на Солнце в 24-м цикле // *Астрон. журнал*. 2020. Т. 97, № 1. С. 64–72. DOI: 10.31857/S000462992001003X.
24. Кичигин Г.Н. Ускорение ионов во фронте нелинейных вистлеров // *Письма в АЖ*. 2020. Т. 46, № 6. С. 451–456. DOI: 10.31857/S0320010820060042.
25. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Копылов Е.А., Киселев А.В., Русских И.В. Исследование оптических атмосферных искажений по данным измерений датчика волнового фронта // *Изв. вузов. Физика*. 2020. Т. 63, № 11 (755). С. 109–114. DOI: 10.17223/00213411/63/11/109.
26. Коробцев И.В., Цуккер Т.Г., Мишина М.Н., Горяшин В.Е., Еселевич М.В. Наблюдения космического мусора в области орбит глобальных навигационных спутниковых систем // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 3. С. 115–123. DOI: 10.12737/szf-63202014.
27. Котова Д.С., Захаренкова И.Е., Клименко М.В., Оводенко В.Б., Тютин И.В., Чугунин Д.В., Чернышев А.А., Ратовский К.Г., Чирик Н.В., Успенский М.В., Клименко В.В., Рахматулин Р.А., Пашин А.Ю., Дмитриев А.В., Суворова А.В. Формирование ионосферных неоднородностей в Восточно-сибирском регионе во время геомагнитной бури 27–28 мая 2017 года // *Химическая физика*. 2020. Т.39, № 4. С. 80–92. DOI: 10.31857/S0207401X20040093.
28. Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Космические лучи в период форбуш-эффектов в марте 1989 г. и в марте 1991 г.: спектры вариаций, анизотропия и вариации жесткости геомагнитного обрезания // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2020. Т. 60, № 4. С. 448–456. DOI: 10.31857/S0016794020040082.
29. Куприянова Е.Г., Колотков Д.Ю., Накаряков В.М., Кауфман А.С. Квазипериодические пульсации в солнечных и звездных вспышках. Обзор // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 1. С. 3–29. DOI: 10.12737/szf-61202001.
30. Кушнарченко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Оценка отношений основных нейтральных составляющих термосферы в 2014–2017 гг. на высотах слоя F1 над Иркутском // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 3. С. 110–114. DOI: 10.12737/szf-63202013.
31. Лысенко А.Л., Фредерикс Д.Д., Флейшман Г.Д., Аптекарь Р.Л., Алтынцев А.Т., Голенецкий С.В., Свинкин Д.С., Уланов М.В., Цветкова А.Е., Ридная А.В. Рентгеновское и гамма-излучение солнечных вспышек // *УФН*. 2020. Т. 190, № 8. С. 878–894. DOI: 10.3367/UFN.2019.06.038757.
32. Малецкий Б.М., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Киселев А.В. Определение параметров ионосферных возмущений на основе данных глобальных навигационных спутниковых систем в автоматическом режиме // *Вестник ИГУ*. 2020. № 23. С. 251–252.
33. Медведев А.В., Потехин А.П., Сетов А.Г., Кушнарев Д.С., Лебедев В.П. Всеатмосферный радар НР-МСТ // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 2. С. 51–60. DOI: 10.12737/szf-62202004.
34. Медведев А.В., Язев С.А. В лучах звезды по имени Солнце. Институту солнечно-земной физики СО РАН 60 лет // *Земля и Вселенная*. 2020. № 4. С. 32–44. DOI: 10.7868/S0044394820040040.
35. Михалев А.В., Васильев Р.В., Белецкий А.Б. Эффекты кратковременного увеличения интенсивности излучения атомарного кислорода [OI] 630.0 нм на высотах нижней термосферы, обусловленные техногенной деятельностью // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2020. Т. 60, № 1. С. 116–125. DOI: 10.31857/S0016794020010101.
36. Михалев А.В. Проявление солнечной активности и динамики атмосферы в вариациях интенсивности эмиссий ночного неба 557.7 и 630.0 нм в 24-м солнечном цикле // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 3. С. 99–104. DOI: 10.12737/szf-63202011.
37. Моисеев А.В., Стародубцев С., Мишин В.В. Особенности возбуждения и распространения по азимуту и меридиану длиннопериодных Р13 колебаний геомагнитного поля 8 декабря 2017 г. // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 3. С. 56–72. DOI: 10.12737/szf-63202007.

38. Молодых С.И., Жеребцов Г.А., Караханян А.А. Оценка влияния солнечной активности на уходящий поток инфракрасного излучения // Геомагнетизм и аэрономия. 2020. Т. 60, № 2. С. 208–215. DOI: 10.31857/S0016794020020108.
39. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Дмитриев А.В., Суворова А.В., Ведерникова Т.И. Классификация магнитосферных откликов на взаимодействие с диамагнитными структурами медленного солнечного ветра // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 4. С. 26–41. DOI: 10.12737/szf-64202004.
40. Пенских Ю.В. Применение метода наибольших вкладов в технике инверсии магнитограмм // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 4. С. 67–76. DOI: 10.12737/szf-64202009.
41. Петрашук А.В., Климушкин Д.Ю. Пространственная структура азимутально-мелкомасштабных МГД-волн в одномерно-неоднородной плазме конечного давления с кривыми силовыми линиями // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 1. С. 63–74. DOI: 10.12737/szf-61202006.
42. Поляченко Е.В., Шухман И.Г. О механизме Линден—Белла образования баров в галактических дисках // Письма в АЖ. 2020. Т. 46, № 1. С. 15–26.
43. Пономарчук С.Н., Пензин М.С. Инверсия ионограмм возвратно-наклонного зондирования в параметры квазипараболического ионосферного слоя // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 3. С. 82–87. DOI: 10.12737/szf-63202009.
44. Потапов А.С., Гульельми А., Довбня Б.В. Ультранизкочастотные эмиссии диапазона 0.1–3 Гц в приполярных областях // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 3. С. 48–55. DOI: 10.12737/szf-63202006.
45. Потравнов И.С., Еселевич М.В. Спектроскопия и кинематика V1117 Her — высокоширотной звезды типа UX Ori // Астрофизика. 2020. Т. 63, № 4. С. 547–557.
46. Ратовский К.Г., Клименко М.В., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Клименко В.В. Статистический анализ ионосферного отклика на геомагнитные бури с использованием данных глобальных ионосферных карт // Химическая физика. 2020. Т. 39, № 10. С. 57–68. DOI: 10.31857/S0207401X20100106.
47. Рубцов А.В., Малецкий Б.М., Данильчук Е.И., Смотрова Е.Е., Шелков А.Д., Ясюкевич А.С. Возмущения ионосферы над Восточной Сибирью во время геомагнитных бурь 12–15 апреля 2016 г. // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 1. С. 75–85. DOI: 10.12737/szf-61202007.
48. Сетов А.Г., Кушнарев Д.С., Васильев Р.В., Медведев А.В. Длительные наблюдения солнечного потока в 2011–2019 гг. на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР) // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 3. С. 33–39. DOI: 10.12737/szf-63202004.
49. Томозов В.М., Язев С.А., Исаева Е.С. Гамма - вспышки и комплексы активности на Солнце // Астрон. журн. 2020. Т. 97, № 8. С. 695–704. DOI: 10.31857/S0004629920090078.
50. Турова И.П., Григорьева С.А., Ожогина О.А. Пространственные и временные вариации формы контуров линии К Ca II в различных структурных образованиях солнечной хромосферы. II. Методика определения и корреляционные соотношения между параметрами линии для участков K1 и K2 // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 4. С. 10–17. DOI: 10.12737/szf-64202002.
51. Хорунжев Г.А., Мещеряков А.В., Буренин Р.А., Ляпин А.Р., Медведев П.С., Сазонов С.Ю., Еселевич М.В., Сюняев Р.А., Гильфанов М.Р. Первые далекие рентгеновские квазары ( $z \sim 4$ ) среди источников, открытых телескопом eROSITA орбитальной обсерватории SRG в ходе глубокого обзора области Дыры Локмана // Письма в АЖ. 2020. Т. 46, № 3. С. 155–162. DOI: 10.31857/S0320010820030031.
52. Челпанов А.А., Кобанов Н.И. Модулированные вспышкой 3- и 5-минутные колебания как средство зондирования солнечной атмосферы // Астрон. журнал. 2020. Т. 97, № 4. С. 341–347. DOI: 10.31857/S0004629920030020.
53. Черкашин А.К., Лобычева И.Ю. Теоретические модели земледведения для количественного анализа глобальных пространственных данных // География и природные ресурсы. 2020. № 2 (161). С. 32–41. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-2(32-41).

54. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Ясюкевич А.С., Хабитуев Д.С. Ионосферная долготная изменчивость в северном полушарии во время магнитных бурь по данным ионозондов и GPS/ГЛОНАСС // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17, № 4. С. 269–281. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-269-281.
55. Шибалова А.С., Обридко В.Н., Соколов Д.Д., Пипин В.В. Солнечный квадруполь в тензорном описании // *Астрон. журнал*. 2020. Т. 97, № 10. С. 849–857. DOI: 10.31857/S0004629920110080.
56. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Киселев А.В. О статистике астроклиматических характеристик в Саянской солнечной обсерватории // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 1. С. 126–133. DOI: 10.12737/szf-61202012.
57. Юсупов К.М., Мэтьюз Д.Д., Маруяма Т., Акчуринов А.Д., Толстиков М.В., Шерстюков О.Н., Филиппова Е.А., Сафиуллин А.С. Амплитудные вариации отраженного сигнала при вертикальном зондировании ионосферы на средних широтах // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 3. С. 88–98. DOI: 10.12737/szf-63202010.
58. Язев С.А., Головкин А.А. 80 лет наблюдений солнечных пятен в Иркутске // *Земля и Вселенная*. 2020. № 3. С. 73–78.
59. Яковлева О.Е., Кушнаренко Г.П., Кузнецова Г.М. Атмосфера над Норильском ниже 200 км в условиях минимума и максимума солнечной активности // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, № 3. С. 105–109. DOI: 10.12737/szf-63202012.
60. Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С. Взгляд на ионосферу Земли через GPS и ГЛОНАСС // *Земля и Вселенная*. 2020. № 4. С. 59–71. DOI: 10.7868/S0044394820040064.
61. Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Куркин В.И. Глобальные навигационные спутниковые системы как средство коррекции ионосферной ошибки радиотехнических средств: проблемы и перспективы // *Изв. вузов. Радиофизика*. 2020. Т. 63, № 3. С. 195–209.
62. Afanasiev N.T., Chudaev S.O. Diagnostics of the stochastic ionospheric channel in the decameter band of radio waves. *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6. Iss. 4. P. 66–73. DOI: 10.12737/stp-64202010.
63. Alsatkin S.S., Medvedev A.V., Ratovsky K.G. Features of Ne recovery at the Irkutsk Incoherent Scatter Radar // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 1. P. 77–88. DOI: 10.12737/stp-61202009.
64. Altyntsev A.T., Lesovoi S.V., Globa M.V., Gubin A.V., Kochanov A.A., Grechnev V.V., Ivanov E.F., Kobets V.S., Meshalkina N.S., Muratov A.A., Prosovetsky D.V., Myshyakov I.I., Uralov A.M., Fedotova A. Multiwave Siberian Radioheliograph // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 2. P. 30–40. DOI: 10.12737/stp-62202003.
65. Bardakov V.M., Strokin N.A., Nguyen T.T., Stupin A.N. Plasma passage through the magnetic barrier of a plasma-optical mass separator // *Plasma Phys. Rep.* 2020. Vol. 46, no. 11. P. 1059–1066. DOI: 10.1134/S1063780X2011001X.
66. Berngardt O.I., Kurkin V.I., Kushnarev D.S., Grkovich K., Fedorov R.R., Orlov A.I., Kharchenko V. ISTP SB RAS decameter radars // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 2. P. 63–73. DOI: 10.12737/stp-62202006.
67. Berngardt O.I., Grkovich K., Fedorov R.R. Synthesis of Symmetric Sounding Sequences for Ekaterinburg Coherent Decameter Radar // *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2020. Vol. 62, no. 11. P. 721–733. DOI: 10.1007/s11141-020-10018-y.
68. Borodkova N.L., Sapunova O.V., Eselevich V.G., Zastenker G.N., Yermolaev Y.I. Comparison of magnetic and plasma overshoots of interplanetary shocks // *Cosmic Res.* 2020. Vol. 58, no. 6. P. 450–459. DOI: 10.1134/S0010952520060015.
69. Borovik A.V., Mordvinov A.V., Golubeva E.M., Zhdanov A. Restructuring of the solar magnetic fields and flare activity centers in cycle 24 // *Astronomy Rep.* 2020. Vol. 64, no. 6. P. 540–546. DOI: 10.1134/S106377292007001X.
70. Borovik A.V., Zhdanov A. Low-power solar flares of optical and X-ray wavelengths for solar cycles 21–24 // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 16–22. DOI: 10.12737/stp-63202002.

71. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Three- and five-minute oscillations modulated by flares as a means of solar atmosphere sensing // *Astronomy Rep.* 2020. Vol. 64, no. 4. P. 363–368. DOI: 10.1134/S1063772920030026.
72. Cherkashin A.K., Lobycheva I.Yu. Earth science theoretical models for quantitative analysis of global spatial data // *Geography and Natural Resources.* 2020. Vol. 41, no. 2. P. 123–132. DOI: 10.1134/S1875372820020043.
73. Chernigovskaya M.A., Spynev B.G., Yasyukevich A.S., Khabituev D.S. Ionospheric longitudinal variability in the Northern Hemisphere during magnetic storm from the GPS/GLONASS data // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa / Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space.* 2020. T. 17, no. 6. C. 145–152. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-6-145-152.
74. Danilova O.A., Ptitsyna N.G., Tyasto M.I., Sdobnov V.E. Disturbed magnetosphere on November 7–8, 2004 and variations of cosmic ray cutoff rigidity: latitude effects // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 34–39. DOI: 10.12737/stp-63202005.
75. Eselevich V.G., Eselevich M.V. Features of the initial stage of formation of fast coronal mass ejection on February 25, 2014 // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 3–15. DOI: 10.12737/stp-63202001.
76. Golovko A.A. Possibility of diagnostics of the beginning of solar cycle 25 based on its precursors at mid-heliolatitudes // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2020. Vol. 60, no. 6. P. 684–692. DOI: 10.1134/S0016793220060055.
77. Grigoryev V.M., Demidov M.L., Kolobov D.Y., Pulyaev V.A., Skomorovsky V.I., Chuprakov S.A. Project of the large solar telescope with mirror 3 m in diameter // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 2. P. 14–29. DOI: 10.12737/stp-62202002.
78. Grigoryev V.M., Ermakova L.V., Khlystova A.I. Asymmetry in occurrence of the leading and following polarities in the photospheric magnetic field at the early stage of active region formation // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6. Iss. 4. P. 3–9. DOI: 10.12737/stp-64202001.
79. Isaeva E.S., Tomozov V.M., Yazev S.A. X-ray flares and activity complexes on the sun in solar cycle 24 // *Astronomy Rep.* 2020. Vol. 64, no. 1. P. 58–65. DOI: 10.1134/S1063772920010035.
80. Khorunzhev G.A., Meshcheryakov A., Burenin R.A., Lyapin A.R., Medvedev P.S., Sazonov S.Yu., Eselevich, M.V., Sunyaev R.A., Gilfanov M.R. The First distant X-ray quasars ( $z \sim 4$ ) among the sources discovered by the eROSITA Telescope of the SRG Orbital Observatory during a deep Lockman Hole survey // *Astronomy Lett.* 2020. Vol. 46, no. 3. P. 149–155. DOI: 10.1134/S1063773720030032.
81. Kichigin G. N. Ion acceleration at the front of nonlinear whistlers // *Astronomy Lett.* 2020. Vol. 46, no. 6. P. 422–427. DOI: 10.1134/S1063773720060043.
82. Korobtsev I.V., Tsukker T., Mishina M., Goryashin V., Eselevich, M.V. Observations of space debris in the vicinity of orbits of global navigation satellite systems // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 94–100. DOI: 10.12737/stp-63202014.
83. Kotova D., Zakharenkova I.E., Klimenko M., Ovodenko V.D., Tyutin I.V., Chugunin D.V., Chernyshov A.A., Ratovsky K.G., Chirik N., Uspensky M.V., Klimenko V.V., Rakhmatulin R. A., Pashin A., Dmitriev A.V., Suvorova A. Formation of ionospheric irregularities in the East Siberian region during the geomagnetic storm of May 27–28, 2017 // *Russian J. Physical Chemistry B.* 2020. Vol. 14, no. 2. P. 377–389. DOI: 10.1134/S1990793120020232.
84. Kravtsova M., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Cosmic rays during forrush effects in March 1989 and March 1991: spectra of variation, anisotropy, and variations of geomagnetic cutoff rigidity // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2020. Vol. 60, no. 4. P. 432–440. DOI: 10.1134/S0016793220040088.
85. Kupriyanova E.G., Kolotkov D., Nakariakov V.M., Kaufman A. Quasi-periodic pulsations in solar and stellar flares. Review // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 1. P. 3–23. DOI: 10.12737/stp-61202001.

86. Kushnarenko G.P., Yakovleva O.E., Kuznetsova G.M. Estimated relations between the main thermospheric neutral components at ionospheric F1-layer heights above Irkutsk in 2014–2017 // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 90–93. DOI: 10.12737/stp-63202013.
87. Lysenko A.L., Frederiks D.D., Fleishman G.D., Aptekar R.L., Altyntsev A.T., Golenetskii S.V., Svinkin D.S., Ulanov M.V., Tsvetkova A.E., Ridnaia A.V. X-ray and gamma-ray emission from solar flares // *Physics–Uspekhi*. 2020. Vol. 63, no. 8. P. 818–832. DOI: 10.3367/UFNe.2019.06.038757.
88. Medvedev A.V., Potekhin A.P., Setov A., Kushnarev D.S., Lebedev V.P. All-atmosphere IS-MST radar // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 2. P. 41–48. DOI: 10.12737/stp-62202004.
89. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Manifestation of wave activity in the upper atmosphere during winter sudden stratospheric warmings // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa / Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2020. Vol. 17, no. 6. P. 159–166. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-6-159-166.
90. Mikhalev A.V., Vasilyev R.V., Beletskii A.B. Effects of a short-term increase in the intensity of 630.0 nm emissions of atomic oxygen [OI] at lower thermospheric altitudes due to anthropogenic activity // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2020. Vol. 60, no. 1. P. 112–120. DOI: 10.1134/S0016793220010107.
91. Mikhalev A.V. Manifestation of solar activity and dynamics of the atmosphere in variations of 577.7 and 630.0 nm atmospheric emissions in solar cycle 24 // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 81–85. DOI: 10.12737/stp-63202011.
92. Moiseev A.V., Starodubtsev S.A., Mishin V.V. Features of excitation and azimuthal and meridional propagation of long-period P13 oscillations of the geomagnetic field on December 8, 2017 // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 46–59. DOI: 10.12737/stp-63202007.
93. Molodykh S.I., Zherebtsov G.A., Karakhanyan A.A. Estimation of solar activity impact on the outgoing infrared-radiation flux // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2020. Vol. 60, no. 2. P. 205–211. DOI: 10.1134/S0016793220020103.
94. Motorina G.G., Lysenko A.L., Anfinogentov S.A., Fleishman G.D. Energetics of X-class flares at the minima of 22, 23, and 24 solar cycles // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2020. Vol. 60, no. 7. P. 929–935. DOI: 10.1134/S001679322007018X.
95. Parkhomov V.A., Eselevich V.G., Eselevich M.V., Dmitriev A.V., Suvorova A.V., Vedernikova T.I. Classification of magnetospheric responses to interaction with diamagnetic structures of slow solar wind // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6. Iss. 4. P. 24–36. DOI: 10.12737/stp-64202004.
96. Pensikh Yu.V. Applying the method of maximum contributions to the magnetogram inversion technique // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6. Iss. 4. P. 55–63. DOI: 10.12737/stp-64202009.
97. Petrashchuk A.V., Klimushkin D. Spatial structure of azimuthally small-scale MHD waves in one-dimensionally inhomogeneous finite pressure plasma with curved field lines // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 1. P. 50–59. DOI: 10.12737/stp-61202006.
98. Polyachenko E.V., Shukhman I.G. On the Lynden—Bell bar formation mechanism in galactic disks // *Astron. Lett.* 2020. Vol. 46, no. 1. P. 12–23. DOI: 10.1134/S1063773719120053.
99. Ponomarchuk S.N., Penzin M.S. Inversion of backscatter ionograms into quasi-parabolic ionospheric layer parameters // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 67–71. DOI: 10.12737/stp-63202009.
100. Potapov A.S., Guglielmi A., Dovbnya B.V. Ultra low frequency emissions ranging from 0.1 to 3 Hz in circumpolar areas // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 40–45. DOI: 10.12737/stp-63202006.
101. Ratovsky K.G., Klimenko M.V., Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M., Klimenko V.V. Statistical analysis of the ionospheric response to geomagnetic storms based on the data from global ionospheric maps // *Russian J. Physical Chemistry B*. 2020, V. 14, no. 5, P. 862–872. DOI: 10.1134/S1990793120050243.

102. Rubtsov A.V., Maletckii B.M., Danilchuk E.I., Smotrova E.E., Shelkov A.D., Yasyukevich A. Ionospheric disturbances over Eastern Siberia during April 12–15, 2016 geomagnetic storms // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, No. 1. P. 60–68. DOI: 10.12737/stp-61202007.
103. Setov A., Kushnarev D.S., Vasilyev R.V., Medvedev A.V. Long-term solar flux observations with Irkutsk Incoherent Scatter Radar (IISR) in 2011–2019 // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 29–33. DOI: 10.12737/stp-63202004.
104. Shibalova A.S., Obridko V.N., Sokolov D.D., Pipin V.V. Solar quadrupole in tensor description // *Astronomy Rep.* 2020. Vol. 64, no. 10. P. 855–862. DOI: 10.1134/S1063772920110086.
105. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Kiselev A.V. Astroclimatic statistics at the Sayan Solar Observatory // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 1. P. 102–107. DOI: 10.12737/stp-61202012.
106. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Bol'basova L.A., Lukin V.P. Features of the formation of wavefront slopes on the telescope aperture at different vertical profiles of optical atmospheric turbulence // *Atmospheric and Oceanic Optics.* 2020. Vol. 33, no. 2. P. 141–145. DOI: 10.1134/S1024856020020104.
107. Shikhovtsev A.Yu., Kiselev A.V., Kovadlo P.G., Kolobov D.Y., Lukin V.P., Tomin V.E. Method for estimating the altitudes of atmospheric layers with strong turbulence // *Atmospheric and Oceanic Optics.* 2020. Vol. 33, no. 3. P. 295–301. DOI: 10.1134/S1024856020030100.
108. Shikhovtsev M.Yu., Shikhovtsev A.Yu., Molozhnikova Ye.V. The study of the seasonal features of turbulence in the atmospheric boundary layer of the Southern Baikal region // *Limnology and Freshwater Biology.* 2020. Vol. 4. P. 884–885. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-884.
109. Timchenko A.V., Bessarab F.S., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Rozanov E.V., Sukhodolov T.V., Borchevkina O.P., Korenkov Y.N., Korenkova N.A., Ratovsky K.G. Variability of the global electron content during the major sudden stratospheric warmings in January 2009 // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa / Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space.* 2020. T. 17, no. 6. C. 167–172. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-6-167-172.
110. Tomozov V.M., Yazev S.A., Isaeva E.S. Solar Gamma-Ray Flares and Activity Complexes // *Astron. Rep.* 2020. Vol. 64, no. 8. P. 722–730. DOI: 10.1134/S1063772920090073.
111. Turova I.P., Grigoryeva S.A., Ozhogina O.A. Spatial and temporal variations of K Ca II line profile shapes in different structures of the solar chromosphere. II. Determination technique and correlation relationships between the K Ca II line parameters for K1 and K2 features // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6. Iss. 4. P. 10–16. DOI: 10.12737/stp-64202002.
112. Vasilyev R.V., Setov A., Frolov V.L., Ratovsky K.G., Beletsky A.B., Oinats A.V., Yasyukevich Yu.V., Medvedev A.V. Modern heating facility for research into the mid-latitude ionosphere // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 2. P. 49–62. DOI: 10.12737/stp-62202005.
113. Vasilyev R.V., Artamonov M., Beletsky A.B., Zorkal'tseva O.M., Komarova E., Medvedeva I.V., Mikhalev A.V., Podlesny S., Ratovsky K.G., Syrenova T., Tashchilin M. A., Tkachev I. Scientific goals of optical instruments of the national heliogeophysical complex // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 2. P. 84–97. DOI: 10.12737/stp-62202008.
114. Yakovleva O.E., Kushnarenko G.P., Kuznetsova G.M. The atmosphere below 200 km over Norilsk at solar minimum and maximum // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 86–89. DOI: 10.12737/stp-63202012.
115. Yasyukevich Yu.V., Syrovatskiy S.V., Padokhin A., Frolov V.L., Vesnin A.M., Zatulokin D.A., Kurbatov G., Zagretdinov R.V., Pershin A.V., Yasyukevich A. GPS Positioning accuracy in different modes with active forcing on the ionosphere from the sura high-power HF radiation // *Radiophysics and Quantum Electronics.* 2020. Vol. 62, no. 12. P. 807–819. DOI: 10.1007/s11141-020-10026-y.

116. Yusupov K.M., Mathews J.D., Maruyama T., Akchurin A.A., Tolstikov M.V., Sherstyukov O.N., Filippova E.A., Safiullin A.S. Amplitude variations of the reflected signal during vertical sounding of the ionosphere at middle latitudes // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 3. P. 72–80. DOI: 10.12737/stp-63202010.
117. Zagainova Yu. S. Fainshtein V. G. New approaches to the identification of sources and the onset of stealth coronal mass ejections // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2020. Vol. 59, no. 8. P. 1062–1069. DOI: 10.1134/S0016793219080267.
118. Zaznobin I.A., Burenin R.A., Bikmaev I., Khamitov I., Khorunzhev G.A., Lyapin A.R., Eselevich M.V., Afanasiev V.L., Dodonov S., Sunyaev R.A. Spectroscopic Redshift Measurements for Galaxy Clusters Detected in the Planck All-Sky Survey // *Astronomy Lett.* 2020. Vol. 46, no. 2. P. 79–91. DOI: 10.1134/S1063773720020048.
119. Zherebtsov G.A. Complex of heliogeophysical instruments of new generation // *Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 6, no. 2. P. 3–13. DOI: 10.12737/stp-62202001.
120. Zhukova A.V., Sokoloff D.D., Abramenko V.I., Khlystova A.I. Cyclic variations, magnetic morphology, and complexity of active regions in solar cycles 23 and 24 // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2020. Vol. 60, no. 6. P. 673–683. DOI: 10.1134/S001679322006016X.
121. Zorkal'tseva O.M., Mordvinov V.I., Pogoreltsev A.I., Dombrovskaya N.S. Dynamics of zonally averaged circulation characteristics in the middle atmosphere // *Izvestiya. Atmospheric and Ocean Phys.* 2020. Vol. 56, no. 4. P. 378–389. DOI: 10.1134/S0001433820040118.

## 5.2. Статьи в иностранных журналах

1. Altyntsev A.T., Meshalkina N.S., Fedotova A.Ya., Myshyakov I.I. Background microwave emission and microflares in young active region 12635 // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 905, no. 2. Art. Id. 149. DOI: 10.3847/1538-4357/abc54f.
2. Afanasyev A.N., Van Doorselaere T., Nakariakov V.M. Excitation of decayless transverse oscillations of coronal loops by random motions // *Astron. Astrophys.* 2020. Vol. 633. P. L8. DOI: 10.1051/0004-6361/201937187.
3. Anfinogentov S., Stupishin A., Mysh'yakov I.I., Fleishman G.D. Record-breaking coronal magnetic field in solar active region 12673 // *Astrophys. J. Lett.* 2020. Vol. 898, No. 2. P. L58. DOI: 10.3847/2041-8213/ab93ce.
4. Berngardt O.I., Voeykov S.V., Perevalova N.P. Comparison of the TEC-based ionospheric disturbance indices AATR and WTEC // *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 203. P. 105254. DOI: 10.1016/j.jastp.2020.105254.
5. Berngardt O.I. Noise level forecasts at 8–20 MHz and their use for morphological studies of ionospheric absorption variations at EKB ISTP SB RAS radar // *Adv. Space Res.* 2020. Vol. 66, no. 2. P. 278–291. DOI: 10.1016/j.asr.2020.04.005.
6. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Multilevel observations of the oscillations in the first active region of the new cycle // *Solar Phys.* 2020. Vol. 295, no. 7. P. 94. DOI: 10.1007/s11207-020-01664-6.
7. Chuvashova M.N., Mylnikova A.A., Gorbacheva A.K., Druzhinin G.V., Moskvitina N.V. The study of current situation in the development of information and telecommunication networks within the Eastern Siberia territory // *J. Physics: Conference Ser.* Vol. 1679, no 4: II International Scientific Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering 25 September – 4 October 2020, Krasnoyarsk, Russian Federation. P. 042025. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/4/042025.
8. Demidov M.L., Hanaoka Y., Sakurai T., Wang X.F. Large-scale solar magnetic fields observed with the Infrared Spectro-Polarimeter IRmag at the National Astronomical Observatory of Japan: Comparison of measurements made in different spectral lines and observatories // *Solar Phys.* 2020. Vol. 295, no. 4. P. 54. DOI: 10.1007/s11207-020-01620-4.

9. Demyanov V.V., Sergeeva M.A., Fedorov M., Ishina T., Gatica-Acevedo V.J., Cabral-Cano E. Comparison of TEC calculations based on Trimble, Javad, Leica, and Septentrio GNSS Receiver data // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, no. 19. P. 3268. DOI: 10.3390/rs12193268.
10. Edemskiy I.K. Localized total electron content enhancements in the Southern Hemisphere // *Annales Geophysicae*. 2020. Vol. 38, no. 2. P. 591–601. DOI: 10.5194/angeo-38-591-2020. (под другим институтом).
11. Egorov Ya.I., Fainshtein V.G., Myshyakov I.I., Anfinogentov S., Rudenko G.V. Studying magnetic field variations accompanying the 2011 June 7 eruptive event, by using nonlinear force-free field modeling // *Solar Phys.* 2020. Vol. 295, no. 4. P. 52. DOI: 10.1007/s11207-020-01613-3.
12. Frick P., Sokoloff D.D., Stepanov R., Pipin V.V., Usoskin I.G. Spectral characteristic of mid-term quasi-periodicities in sunspot data // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2020. Vol. 491, no. 4. P. 5572–5578. DOI: 10.1093/mnras/stz3238.
13. Galkin I.A., Reinisch B.W., Vesnin A.M., Bilitza D., Fridman S., Habarulema J.B., Veliz O. Assimilation of sparse continuous near-Earth weather measurements by NECTAR model morphing // *Space Weather*. 2020. Vol. 18, Iss. 11. P. e2020SW002463. DOI: 10.1029/2020SW002463.
14. Gavrilov N.M., Popov A.A., Perminov V.I., Pertsev N.N., Medvedeva I.V., Ammosov P.P., Gavrilyeva G.A., Koltovskoi I.I. Mesoscale variations of hydroxyl rotational temperature from observations at Russian sites // *Proc. SPIE*. 2020. Vol. 11560. # 115607W. DOI: 10.1117/12.2574795.
15. Grechnev V.V., Kuzmenko I.V. A Geoeffective CME caused by the eruption of a quiescent prominence on 29 September 2013 // *Solar Phys.* 2020. Vol. 295, no. 4. P. 55. DOI: 10.1007/s11207-020-01619-x.
16. Grechnev V.V., Meshalkina N.S., Uralov A.M., Kochanov A.A., Lesovoi S.V., Myshyakov I.I., Kiselev V., Zhdanov D.A., Altyntsev A.T., Globa M.V. Twin null-point-associated major eruptive three-ribbon flares with unusual microwave spectra // *Solar Phys.* 2020. Vol. 295, no. 9. P. 128. DOI: 10.1007/s11207-020-01702-3.
17. Ishin A.B., Voeykov S.V., Ishina T.V. Ionospheric effects of earthquake on November 13, 2016 in New Zealand // *Proc. SPIE*. 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 115608O. DOI: 10.1117/12.2575591.
18. Ivanova V.A., Podlesnyi A.V., Naumenko A.A., Poddelsky A.I. Method of semi-automatic registration of MS TID using oblique-incidence sounding data // *Proc. SPIE*. 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 115608H. DOI: 10.1117/12.2575521.
19. Ivanova V.A., Ponomarchuk S.N., Podlesnyi A. V. Accuracy characteristics of automatic interpretation of vertical sounding data // *Proc. SPIE*. 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 115608Q. DOI: 10.1117/12.2575625.
20. Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Seasonal variations of outgoing longwave radiation from satellite data // *Proc. SPIE*. 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 1156066. DOI: 10.1117/12.2574927.
21. Karlicky M., Kasparova J., Sych R.A. Radio, EUV, and X-ray observations during a filament rise in the 2011 June 7 solar flare // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 888, no. 1. P. 18. DOI: 10.3847/1538-4357/ab5801.
22. Kashapova L.K., Kupriyanova E.G., Xu Z., Reid H.A.S., Kolotkov D. The origin of quasi-periodicities during circular ribbon flares // *Astron. Astrophys.* 2020. Vol. 642. P. A195. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833947>.
23. Kitchatinov L.L. Flux tubes forming instability near the base of the rotating convection zone: a possible explanation for the low latitudes of sunspots // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 893, no. 2. P. 131. DOI: 10.3847/1538-4357/ab7fa8.

24. Kitchatinov L.L., Potravnov I.S., Nepomnyashchikh A.A. Longitudinal drift of Tayler instability eigenmodes as a possible explanation for super-slowly rotating Ap stars // *Astron. Astrophys.* 2020. Vol. 638. P. L9. DOI: 10.1051/0004-6361/202037862.

25. Kolotkov D. Y., Duckenfield T. J., Nakariakov V. M. Seismological constraints on the solar coronal heating function // *Astron. Astrophys.* 2020. Vol. 644. P. A33. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039095>.

26. Kotova D., Ovodenko V.D., Yasyukevich Yu.V., Klimenko M., Ratovsky K.G., Mylnikova A.A., Andreeva E.S., Kozlovsky A., Korenkova N.A., Nesterov I., Tumanova Yu. Efficiency of updating the ionospheric models using total electron content at mid- and sub-auroral latitudes // *GPS Solutions.* 2020. Vol. 24, no. 1. P. 25. DOI: 10.1007/s10291-019-0936-x. (B WOS занесена 2019 г.).

27. Kovadlo P.G., Lukin V. P., Shikhovtsev A.Yu. Towards improvements of the adaptive optics systems in astronomy // *Proc. SPIE.* 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 1156014. DOI: 10.1117/12.2574992.

28. Kovadlo P.G., Kiselev A.V., Kolobov D.Yu., Lukin V.P., Russkih I.V., Shikhovtsev A.Yu., Shikhovtsev M.Yu. The variations of the optical distortions with height at the Baikal Astrophysical Observatory site // *Proc. SPIE.* 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 1156015. DOI: 10.1117/12.2574993.

29. Kurkin V.I., Polekh N.M., Zolotukhina N.A. Influence of stratospheric warmings on formation of sporadic layers over the Asian region of Russia // *Proc. SPIE.* 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 115608A. DOI: 10.1117/12.2575438.

30. Kurkin V.I., Medvedeva I.V., Naumenko A.A., Podlesnyi A.V., Chistyakova L.V., Poddelsky A.I., Teslyuk Yu.A. Investigation of medium-scale traveling ionospheric disturbances over the Asian region of Russia during solar cycle 24 // *Proc. SPIE.* 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 115608F. DOI: 10.1117/12.2575513.

31. Kuznetsov A.A., Chrysaphi N., Kontar E.P., Motorina G. Radio echo in the turbulent corona and simulations of solar drift-pair radio bursts // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 898, no. 2. P. 94. DOI: 10.3847/1538-4357/aba04a.

32. Laryunin O.A., Ponomarchuk S.N. Numerical modeling of additional traces on vertical incidence ionograms in their state of merging with the main trace // *Proc. SPIE.* 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 1156085. DOI: 10.1117/12.2575063.

33. Lavygin I.A., Bergardt O.I., Lebedev V.P., Grkovich K. Identifying ground scatter and ionospheric scatter signals by using their fine structure at Ekaterinburg Decametre Coherent Radar // *IET Radar Sonar & Navigation.* 2020. Vol. 14, no. 1. P. 167–176. DOI: 10.1049/iet-rsn.2019.0192.

34. Leonovich A.S., Kozlov D.A. Focusing of fast magnetosonic waves in the dayside magnetosphere // *J. Geophys. Res.* 2020. Vol. 125, no. 7. P. e2020JA027925. DOI: 10.1029/2020JA027925.

35. Li B., Antolin P., Guo M.-Z., Kuznetsov A.A., Pascoe D.J., Van Doorselaere T., Vasheghani Farahani S. Magnetohydrodynamic fast sausage waves in the solar corona // *Space Sci. Rev.* 2020. Vol. 216, no. 8. P. 136 DOI: 10.1007/s11214-020-00761-z.

36. Li D., Li Y., Lu L., Zhang Q., Ning Z.J., Anfinogentov S. Observations of a quasi-periodic pulsation in the coronal loop and microwave flux during a solar preflare phase // *Astrophys. J. Lett.* 2020. Vol. 893, no. 1. P. L17. DOI: 10.3847/2041-8213/ab830c.

37. Li D., Kolotkov D., Nakariakov V.M., Lu L., Ning Z.J. Quasi-periodic pulsations of gamma-ray emissions from a solar flare on 2017 September 6 // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 888, no. 2. P. 53. DOI: 10.3847/1538-4357/ab5e86.

38. Li L., Wang X.G., Zheng W., Pozanenko A., Filippenko A.V., Qin S.M., Wang S.Q., Jiang L., Li J., Lin D.B., Liang E.W., Volnova A., Elenin L., Klunko E., Inasaridze R., Kusakin A.,

- Lu R. GRB 140423A: A case of stellar wind to interstellar medium transition in the afterglow // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 900, no. 2. P. 176. DOI: 10.3847/1538-4357/aba757.
39. Maletckii B.M., Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M. Wave signatures in total electron content variations: Filtering problems // *Remote Sensing.* 2020. Vol. 12, no. 8. P. 1340. DOI: 10.3390/RS12081340.
40. Martinez-Calderon C., Němec F., Katoh Y., Shiokawa K., Kletzing C., Hospodarsky G., Santolik O., Kasahara Y., Matsuda S., Kumamoto A., Tsuchiya F., Matsuoka A., Shoji M., Teramoto M., Kurita S., Miyoshi Y., Ozaki M., Nishitani N., Oinats A.V., Kurkin V.I. Spatial extent of quasiperiodic emissions simultaneously observed by Arase and Van Allen Probes on 29 November 2018 // *J. Geophys. Res.* 2020. Vol. 125, no. 9. P. e2020JA028126. DOI: 10.1029/2020JA028126.
41. Mazaeva E.D., Pozanenko A., Volnova A., Minaev P., Belkin S., Inasaridze R., Klunko E., Kusakina A., Reva I., Rumyantsev V., Novichonok A., Moskvitin A., Paronyan G., Schmalz S., Tungalag N. Searching for optical counterparts of LIGO/virgo events in O2 run // *Communications in Computer and Information Sci.* 2020. Vol. 1223. CCIS: 21st International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains, DAMDID/RCDL 2019; Kazan; Russian Federation; October 15–18, 2019 . P. 124–143. DOI: 10.1007/978-3-030-51913-1\_9.
42. Medvedeva I., K.G. Ratovsky Studying atmospheric and ionospheric variabilities associated with sudden stratospheric warmings // *Proc. SPIE.* 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. # 115608M. DOI: 10.1117/12.2575552.
43. Mikhailova O.S., Mager P., Klimushkin D. Transverse resonator for ion-ion hybrid waves in dipole magnetospheric plasma // *Plasma Physics and Controlled Fusion.* 2020. Vol. 62, no. 9. P. 095008. DOI: 10.1088/1361-6587/ab9be9.
44. Mikhailova O.S., Mager P., Klimushkin D. Two modes of ion-ion hybrid waves in magnetospheric plasma // *Plasma Physics and Controlled Fusion.* 2020. Vol. 62, no. 2. P. 025026. DOI: 10.1088/1361-6587/ab5b32.
45. Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M. Comparison of characteristics of photons fluxes various energies in the development of solar gamma flares // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physico-Mathematical Ser.* 2020. Vol. 3, no. 331. P. 59–65. DOI: 10.32014/2020.2518-1726.37.
46. Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M. Features of magnetic structure of sunspots groups at development of sustained fluxes high energy gamma ray // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physico-Mathematical Ser.* 2020. Vol. 331, no. 3. P. 66-72. DOI: 10.32014/2020.2518-1726.38.
47. Mishin V.V., Tsegmed B., Klibanova Y., Kurikalova M.A. Burst geomagnetic pulsations as indicators of substorm expansion onsets during storms // *J. Geophys. Res.* 2020. Vol. 125, no. 10. P. e2020JA028521. <https://doi.org/10.1029/2020JA028521>.
48. Mordvinov A.V., Karak B.B., Banerjee D., Chatterjee S., Golubeva E.M., Khlystova A.I. Long-term evolution of the Sun's magnetic field during cycles 15-19 based on their proxies from Kodaikanal Solar Observatory // *Astrophys. J. Lett.* 2020. Vol. 902, no. 1. P. L15. DOI: 10.3847/2041-8213/abba80.
49. Myshyakov I.I., Tsvetkov T. Comparison of kinematics of solar eruptive prominences and spatial distribution of the magnetic decay index // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 889, no. 1. P. 28. DOI: 10.3847/1538-4357/ab6334.
50. Nakariakov V.M., Kolotkov D. Magnetohydrodynamic waves in the solar corona // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 2020. Vol. 58. P. 441–481. <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-032320-042940>.
51. Nosikov I.A., Klimenko M., Zhbakov G.A., Podlesnyi A.V., Ivanova V.A., Bessarab F.S. Generalized force approach to the identification of high and low rays in the point-to-point

- ionospheric ray tracing problem // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2020. Vol. 65, no. 1. СТ. 8827559. P. 455–467. DOI: 10.1109/TAP.2019.2938817.
52. Obridko V.N., Fainshtein V.G., Zagainova Yu., Rudenko G.V. Magnetic coupling of the solar hemispheres during the solar cycle // *Solar Phys.*. 2020. Vol. 295, no. 11. P. 149. DOI: 10.1007/s11207-020-01716-x.
53. Oinats A.V., Edemsky I.K., Rogov D.D. Updating IRI Model Using Vertical Sounding and GIM TEC Data and Its Application for the Ekaterinburg HF Radar Data Simulation // 2020 XXXIIIrd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science: proceedings. IEEE, 2020. DOI: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232229
54. Ovodenko V.D., Klimenko M., Zakharenkova I.E., Oinats A.V., Kotova D., Nikolaev A.V., Tyutin I.V., Rogov, D., Ratovsky K.G., Chugunin D.V., Budnikov K.L., Coxon J.C., Anderson S.J., Chernyshov A.A. Spatial and Temporal Evolution of Different-Scale Ionospheric Irregularities in Central and East Siberia During the 27–28 May 2017 Geomagnetic Storm // *Space Weather*. 2020. Vol.18, no. 6. P. e2019SW002378. DOI: 10.1029/2019SW002378.
55. Penzin M.S., Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I. The Real-time Diagnostics of HF Radio Channel on the Base of Ionospheric Backscatter Sounding Data // 2020 XXXIIIrd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science: proceedings: IEEE,2020. DOI: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232353.
56. Perevalova N.P., Romanova E.B., Tashchilin A.V. Detection of high-latitude ionospheric structures using GNSS // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 2020. Vol.207. P. 105335. DOI: 10.1016/j.jastp.2020.105335.
57. Pipin V.V., Kosovichev A.G. Torsional Oscillations in Dynamo Models with Fluctuations and Potential for Helioseismic Predictions of the Solar Cycles // *Astrophys. J.* 2020. Vol.900, no. 1. P. 26. DOI: 10.3847/1538-4357/aba4ad.
58. Polyachenko E.V., Berczik P., Shukhman I.G. Simulation of the loss-cone instability in spherical systems. I. Dominating harmonic potential // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2020. Vol. 492, no. 1. P. 645–650. DOI: 10.1093/mnras/stz3544.
59. Polyachenko E.V., Berczik P., Just A., Shukhman I.G. Simulation of the loss-cone instability in spherical systems. II. Dominating Keplerian potential // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2020. Vol. 492, no. 4. P. 4819–4824. DOI: 10.1093/mnras/staa141.
60. Polyachenko E.V., Shukhman I.G. The Lynden-Bell bar formation mechanism in simple and realistic galactic models // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2020. Vol. 498, no. 3. P. 3368–3373. DOI: 10.1093/mnras/staa2573.
61. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kotovich G.V., Kurkin V.I., Naumenko A.A., Oinats A.V., Podlesnyi A.V. The correction of ionosphere parameters on the base of vertical and backscatter sounding data by continuous chirp signal // *Proc. SPIE*. 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. # 1156082. DOI: 10.1117/12.2575052.
62. Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Oinats A.V. The investigation of signal shape for backscatter ionosphere sounding by continuous chirp signal // *Proc. SPIE*. 2020. Vol11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. # 1156084. DOI: 10.1117/12.2575059.
63. Popov A.A., Gavrilov N.M., Perminov V.I., Pertsev N.N., Medvedeva I.V. Multi-year observations of mesoscale variances of hydroxyl nightglow near the mesopause at Tory and Zvenigorod // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 2020. Vol. 205. P. 105311. DOI: 10.1016/j.jastp.2020.105311.
64. Potapov A.S., Polyushkina T. Estimation of the ionosphere critical frequency without radio sounding // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2020. Vol.58, no. 7. P. 5058–5065. DOI: 10.1109/TGRS.2020.2972011.
65. Potapov A.S. Kinetic magnetic holes in the high-speed streams during solar cycle 23 // *Planet. Space Sci.* 2020. Vol. 192, no. 1. P. 105066. DOI: 10.1016/j.pss.2020.105066.

66. Potravnov I.S., Eselevich M. V. Spectroscopy and Kinematics of the High-Latitude UX Ori Type Star V1117 Her // *Astrophysics*. 2020. Vol. 63. P. 482–490. DOI: 10.1007/s10511-020-09652-1.
67. Ratovsky K.G., Klimenko M.V., Yasyukevich Y.V., Klimenko V.V., Vesnin A.M. Statistical analysis and interpretation of high-, mid-and low-latitude responses in regional electron content to geomagnetic storms // *Atmosphere*. 2020. Vol. 11, no. 12. Art. Id. 1308. DOI: 10.3390/atmos11121308.
68. Rubtsov A.V., Mager P., Klimushkin D. Ballooning instability in the magnetospheric plasma: two-dimensional eigenmode analysis // *J. Geophys. Res.* 2020. Vol. 125, no. 1. P. e2019JA027024. DOI: 10.1029/2019JA027024.
69. Rudenko G.V., Dmitrienko I.S. Validity of Nonlinear Force-Free Field Optimization Reconstruction // *Solar Phys.* 2020. Vol. 295, no. 6. P. 85. DOI: 10.1007/s11207-020-01647-7.
70. Sharykin I.N., Zimovets I.V., Myshyakov I.I. Flare energy release at the magnetic field polarity inversion line during the m1.2 solar flare of 2015 March 15. II. Investigation of photospheric electric current and magnetic field variations using HMI 135 s vector magnetograms // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 893, no. 2. P. 159. DOI: 10.3847/1538-4357/ab84ef.
71. Shikhovtsev A.Yu., Bol'basova L.A., Kovadlo P.G., Kiselev A.V. Atmospheric parameters at the 6-m Big Telescope Alt-azimuthal site // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2020. Vol. 493, no. 1. P. 723–729. DOI: 10.1093/mnras/staa156.
72. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P. G., Kiselev A. V. The results of the measurements of the nighttime optical turbulence parameters at the Baikal Astrophysical Observatory // *Proc. SPIE*. 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. # 1156013. DOI: 10.1117/12.2574991.
73. Sokoloff D. D., Shibalova A.S., Obridko V.N., Pipin V.V. Shape of solar cycles and mid-term solar activity oscillations // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2020. Vol. 497, no. 4. P. 4376–4383. DOI: 10.1093/mnras/staa2279.
74. Sorokin A.G., Klyuchevskii A.V. Comment on “Hovsgol earthquake 5 December 2014, MW = 4.9: seismic and acoustic effects” by Anna A. Dobrynina, Vladimir A. Sankov, Larisa R. Tcydypova, Victor I. German, Vladimir V. Chechelnitsky, Ulzibat Munkhuu / A.G. Sorokin, A.V. Klyuchevskii // *J. Seismology*. 2020. Vol. 24. P. 1291–1296. DOI: 10.1007/s10950-020-09945-0.
75. Sych R. A., Zhugzhda Y., Yan X. Properties of local oscillations in the lower sunspot atmosphere // *Astrophys. J.* 2020. Vol. 888, no. 2. P. 84. DOI: 10.3847/1538-4357/ab5a78.
76. Tashchilin A.V. Modeling of heat transfer in the ionosphere and plasmasphere // *Proc. SPIE*. 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. # 115608I. DOI: 10.1117/12.2575524.
77. Tolstikov M.V., Oinats A.V., Medvedeva I.V., Nishitani N. Method for Estimating Neutral Wind Azimuth using 2D TID Propagation Parameters // 2020 XXXIIIrd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science: Proc. IEEE, 2020. DOI: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232189.
78. Uryadov V.P., Kurkin V.I., Vybornov F.I., Pershin A.V., Sheiner O.A. Results of Observations of the Ionosphere Response to a Partial Solar Eclipse on 11.08.2008 According to Data from a Network Oblique Sounding Paths in the Eurasian Region // 2020 XXXIIIrd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science: Proc. IEEE, 2020. DOI: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232238.
79. Van Doorselaere T., Srivastava A.K., Antolin P., Magyar N., Vasheghani Farahani S., Tian H., Kolotkov D., Ofman L., Guo M., Arregui I.I., De Moortel I., Pascoe, D. Coronal heating by MHD waves (Review) // *Space Sci. Rev.* 2020. Vol. 216, Iss. 8. P. 140. DOI: 10.1007/s11214-020-00770-y.
80. Wyrzykowski L., Mróz P., Rybicki K.A., Gromadzki M., Eselevich M.V., et al. Full orbital solution for the binary system in the northern Galactic disc microlensing event Gaia16aye // *Astron. Astrophys.* 2020. Vol. 633. P. A98. DOI: 10.1051/0004-6361/201935097.

81. Yang S., Pipin V.V., Sokoloff D.D., Kuzanyan K.M., Zhang H. The origin and effect of hemispheric helicity imbalance in solar dynamo // *J. Plasma Phys.* 2020. Vol. 86, no. 3. P. 775860302. DOI: 10.1017/S0022377820000306.
82. Yasyukevich Yu.V., Kiselev A.V., Zhivetiev I.V., Edemskiy I.K., Syrovatskii S.V., Maletckii B.M., Vesnin A.M. SIMuRG: System for Ionosphere Monitoring and Research from GNSS // *GPS Solutions.* 2020. Vol. 24, no. 3. P. 69. DOI: 10.1007/s10291-020-00983-2.
83. Yasyukevich A., Medvedeva I.V., Sivtseva V., Chernigovskaya M. A., Ammosov P., Gavriilyeva G. Strong interrelation between the short-term variability in the ionosphere, upper mesosphere, and winter polar stratosphere // *Remote Sensing.* 2020. Vol. 12, no. 10. P. 1588. DOI: 10.3390/rs12101588.
84. Yasyukevich Yu.V., Vasilyev R.V., Ratovsky K.G., Setov A., Globa M.V., Syrovatskii S.V., Yasyukevich A., Kiselev A.V., Vesnin A.M. Small-scale ionospheric irregularities of auroral origin at mid-latitudes during the 22 June 2015 magnetic storm and their effect on GPS positioning // *Remote Sensing.* 2020. Vol. 12, no. 10. P. 1579. DOI: 10.3390/rs12101579.
85. Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Vesnin A.M. GNSS-based non-negative absolute ionosphere total electron content, its spatial gradients, time derivatives and differential code biases: Bounded-variable least-squares and Taylor series // *Sensors.* 2020. Vol. 20, no. 19. P. 5702(1-20). DOI: 10.3390/s20195702.
86. Yasyukevich A., Syrovatskii S.V., Yasyukevich Yu.V. Changes in the GNSS precise point positioning accuracy during a strong geomagnetic storm // *E3S Web of Conferences / XI International Conference “Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors” Paratunka, Kamchatka region, Russia, September 22–25, 2020.* 2020. Vol. 196. P. 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/202019601001.
87. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Gromova L.I., Gromov S.V. Source region identification and geophysical effects of stealth coronal mass ejections // *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* 2020. Vol. 208. P. 105391. DOI: 10.1016/j.jastp.2020.105391.
88. Zhukova A., Khlystova A., Abramenko V., Sokoloff D. A Catalog of Bipolar Active Regions Violating the Hale Polarity Law, 1989 – 2018 // *Solar Phys.* 2020. Vol. 295. P. 165. DOI: 10.1007/s11207-020-01734-9.
89. Zorkaltseva O. S., Vasilyev R. V., Saunkin A. V., Pogoreltsev A. I. The study of temperature and night green airglow at mid-latitude in MLT during winter // *Proc. SPIE.* 2020. Vol. 11560 / 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. # 1156081. DOI: 10.1117/12.2574914.

### 5.3. Доклады в сборниках российских конференций

1. Белоусова Е.П. Организация подготовки магистрантов в научном учреждении: потенциал и необходимость // Научно-практическая конференция «Актуальные научные исследования аспирантов» (с участием иностр. ученых). ИНЦ СО РАН, Иркутск, 30 октября 2020 г.: сб. докл. Иркутск, Изд-во ИНЦ СО РАН, 2020. С. 4–7. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44306924>.
2. Гаврилов М.Г., Угольников О.С., Язев С.А. Концепция преподавания учебного предмета «Астрономия» // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция «Обучение физике и астрономии в общем и профессиональном образовании». Иркутск, 24–26 марта 2020 г.: материалы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2020. С. 29–41.
3. Девятова Е. В. Облачность на юге Восточной Сибири по данным ECMWF ERA-Interim и NCEP/NCAR Reanalysis 1 // III Всероссийская научно-практическая конференция «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России», 25–27 ноября 2020 г., Иркутск: материалы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2020. С. 389–393.
4. Жуков И.О., Латышев С.В. Струйные течения над горными районами Восточных Саян // XXIII межрегиональная молодежная научно-практическая конференция с

международным участием «Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы»: сб. трудов. Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2020. С. 478–481.

5. Куркин В.И., Подлесный А.В., Цедрик М.В. Временные вариации поляризации характеристик КВ-радиосигналов при вертикальном и слабонаклонном зондировании ионосферы // VII Всероссийская микроволновая конференция. 25–27 ноября 2020 г., Москва: доклады. М.: Издание JRE – ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 2020. С. 325–329.

6. Лановая О.О., Язев С.А. О типовых заданиях ЕГЭ по астрономии в 2020 г. // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция «Обучение физике и астрономии в общем и профессиональном образовании». Иркутск, 24–26 марта 2020 г.: материалы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2020. С. 95–99.

7. Латышева И. В., Латышев С. В., Уварова А. А. Исследование вертикальной структуры и горизонтальной динамики тропических и внетропических циклонов по выходным данным прогностической модели GFS // III Всероссийская научно-практическая конференция «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России», 25–27 ноября 2020 г., Иркутск: материалы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2020. С. 56–63.

8. Линникова С. А., Олемской С. В. Исследование ветрового режима на аэродромах Иркутской области и Республики Бурятия // III Всероссийская научно-практическая конференция «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России», 25–27 ноября 2020 г., Иркутск: материалы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2020. С. 260–263.

9. Мандарханов И.Л., Латышев С.В. Внезапные стратосферные потепления и погодные условия горных районов Восточных Саян // Межрегиональная молодежная научно-практическая конференция с международным участием «Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы»: сб. трудов. Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2020. С. 485–488.

10. Михалев А.В., Голубева Л.В., Шахаев И.В., Курдюков В.Н. Сравнительный анализ характеристик лесных пожаров на территории Сибири и Аляски // Межрегиональная молодежная научно-практическая конференция с международным участием «Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы»: сб. трудов. Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2020. С. 530–533.

11. Подлесный А.В., Куркин В.И., Цедрик М.В. Приемная антенная система ионозонда "Ионозонд-МС" // VII Всероссийская микроволновая конференция. 25–27 ноября 2020 г., Москва: доклады. М.: Издание JRE — ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 2020. С. 339–342. <http://microwaveweek.ru/rmc/>.

12. Ружич В.В., Смольков Г.Я., Левина Е.А. Об уточнении модели Байкальской рифтовой зоны с учетом новых данных // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 18. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2020. С. 312–314. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44528140>.

13. Смольков Г.Я. Специфика происходящего в Арктике и Антарктике // Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 90-летию со дня рождения акад. Николая Павловича Лавёрова «Глобальные проблемы Арктики и Антарктики». Архангельск, 2–5 ноября 2020 г.: сб. научных материалов. Архангельск, 2020. С. 171–176. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44293292>.

14. Софьин А.В., Куркин В.И., Подлесный А.В. Исследование влияния ПИВ различных масштабов на ионограммы наклонного и слабонаклонного зондирования ионосферы непрерывными ЛЧМ-сигналами // VII Всероссийская микроволновая конференция. 25–27 ноября 2020 г., Москва: доклады. М.: Издание JRE — ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 2020. С. 330–334.

15. Цедрик М.В., Подлесный А.В., Куркин В.И. Диагностика ПИВ различного масштаба по данным амплитудных измерений ЛЧМ-сигналов при вертикальном и слабонаклонном зондировании ионосферы // VII Всероссийская микроволновая конференция. 25–27 ноября 2020 г., Москва: доклады. М.: Издание JRE — ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 2020. С. 335–338.

16. Шиховцев М.Ю. О сезонных особенностях изменения кинетической энергии турбулентности приземного слоя атмосферы в п. Листвянка // Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы. Материалы XXIII межрегиональной молодежной научно-практической конференции с международным участием. Иркутск: сб. трудов конф. Иркутск: Изд-во "Оттиск", 2020. С. 517–521.

17. Шобогоева Е.В., Латышев С.В. Климат высокогорных районов России // Межрегиональная молодежная научно-практическая конференция с международным участием «Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы»: сб. трудов. Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2020. С. 522–525.

#### 5.4. Доклады в сборниках международных конференций

1. Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Комарова Е.С., Медведева И.В., Михалев А.В., Подлесный С.В., Ратовский К.Г., Сыренова Т.Е., Ткачев И.Д. Комплексные оптические и радиофизические исследования атмосферы Земли. Возможности существующих и новых инструментов ИСЗФ СО РАН // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. P8–P9. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

2. Гаврилов Н.М., Попов А.А., Перминов В.И., Перцев Н.Н., Медведева И.В., Аммосов П.П., Гаврильева Г.А., Колтовской И.И. Мезомасштабные вариации вращательной температуры гидроксила по наблюдениям на российских станциях // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E100–E103. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

3. Домбровская Н.С., Зоркальцева О.С., Мордвинов В.И. Особенности низкочастотных вариаций средних зональных характеристик циркуляции стратосферы и мезосферы в зимний период // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E39–E42. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

4. Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Домбровская Н.С. Зимняя динамика ветра и температуры в верхней атмосфере над югом Восточной Сибири // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E229–E230. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

5. Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Саункин А.В. Вариации ветра и температуры в мезосфере и нижней термосфере во время внезапных стратосферных потеплений // XIV Международная школа молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 1–5 июля 2020 г.: материалы. Томск, 2020. <http://school.iao.ru/2020/?id=total>.

6. Иванова В.А., Подлесный А.В., Науменко А.А., Поддельский А.И. Методика полуавтоматической регистрации СМ ПИВ по данным наклонного зондирования // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E112–E115. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

7. Иванова В.А., Пономарчук С.Н., Подлесный А.В. Точностные характеристики автоматической интерпретации данных вертикального зондирования // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E116–E119. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

8. Ишин А.Б., Воейков С.В. Ионосферные эффекты землетрясения в Новой Зеландии 13 ноября 2016 г. // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E108–E111. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

9. Караханян А.А., Молодых С.И. Сезонные изменения уходящей длинноволновой радиации по спутниковым данным // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. D113–D116. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

10. Киселев А.В., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Русских И.В., Шиховцев А.Ю. Результаты измерений характеристик оптической турбулентности в ночное время // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. В185–В188. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
11. Киселев А.В., Колобов Д.Ю., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Русских И.В., Шиховцев А.Ю. Исследование волновых фронтов от разнесенных астрономических источников света // Физика окружающей среды. Материалы XIV Международной Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 2–4 ноября 2020 г. - Томск: STT, 2020. С. 37-40. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44477917&selid=44477926>.
12. Ковадло П.Г., Киселев А.В., Колобов Д.Ю., Лукин В.П., Русских И.В., Шиховцев А.Ю. Изменения характеристик волнового фронта с высотой в месте расположения Байкальской астрофизической обсерватории // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. В245–В249. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
13. Ковадло П.Г., Лукин В.П., Шиховцев А.Ю. На пути совершенствования систем адаптивной оптики в астрономии // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. В76–В81. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
14. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Язев С.А. О современном повышении температуры воздуха в северном полярном регионе // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. D7–D11. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
15. Куркин В.И., Полех Н.М., Золотухина Н.А. Влияние стратосферных потеплений на образование спорадических слоев над азиатским регионом России // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. E132–E135. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
16. Куркин В.И., Медведева И.В., Науменко А.А., Подлесный А.В., Чистякова Л.В., Поддельский А.И., Теслюк Ю.А. Исследование среднemasштабных перемещающихся ионосферных возмущений над азиатским регионом России в 24 цикле солнечной активности // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. E128–E131. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
17. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Признаки аномального поведения ионосферы в 2003–2014 гг. (Иркутск) // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. E79–E82. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
18. Ларюнин О.А., Пономарчук С.Н. Численное моделирование дополнительных треков ионограммы вертикального зондирования в переходной фазе их слияния с основным треком // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. E136–E139. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
19. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Отклик температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации на солнечную активность в текущем солнечном цикле // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. E144–E148. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
20. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование эффектов зимнего внезапного стратосферного потепления на высотах мезопаузы и F2-области ионосферы по данным спектрометрических и радиофизических наблюдений // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М., 2020. С. E149–E153. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

21. Подлесный С.В. Методика определения прозрачности атмосферы в ночное время суток на момент проведения измерения с применением данных цветной ПЗС-камеры // XIV Международная школа молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 1–5 июля 2020 г.: материалы. Томск, 2020. <http://school.iao.ru/2020/?id=total>.
22. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Котович Г.В., Куркин В.И., Науменко А.А., Ойнац А.В., Подлесный А.В. Корректировка параметров ионосферы по данным вертикального и возвратно-наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E171–E174. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
23. Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Ойнац А.В. Исследование формы сигнала возвратно-наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E175–E178. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
24. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В., Михалев А.В. Оценка параметров метеорного следа на основе данных двухпозиционных оптических наблюдений // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E77–E78. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
25. Тащилин А.В. Моделирование процесса переноса тепла в ионосфере и плазмосфере // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: сб. докл. М.:, 2020. С. E199–E202. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
26. Тащилин М.А. Пространственно-временные вариации аэрозольной оптической толщи в Байкальском регионе по данным наземных и спутниковых измерений // XIV Международная школа молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 1–5 июля 2020 г.: материалы. Томск, 2020. <http://school.iao.ru/2020/?id=total>.
27. Шиховцев А.Ю. Исследование волновых фронтов от разнесенных астрономических источников света // XIV Международная школа молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 1–5 июля 2020 г.: материалы. Томск, 2020. <http://school.iao.ru/2020/?id=total>.
28. Шиховцев А.Ю. Метод сопряжения измерителя оптических искажений с турбулентным слоем в земной атмосфере // XIV Международная школа молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 1–5 июля 2020 г.: материалы. Томск, 2020. <http://school.iao.ru/2020/?id=total>.
29. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Чупраков С.А. Метод сопряжения измерителя оптических искажений с турбулентным слоем в земной атмосфере // Физика окружающей среды. Материалы XIV Международной Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 2–4 ноября 2020 г. Томск: STT, 2020. С. 114-115.
30. Churilov S.M. Weakly-nonlinear instability development in a sharply stratified shear flow with an inflection-free velocity profile // Proc. 14th European Turbulence Conference ETC-2013. 2020.
31. Demidov M.L., Hanaoka Y., Sakurai T. Large-scale solar magnetic fields from observations in the visible and infrared spectral lines and some space weather issues // Proc. 9th Solar Polarization Workshop SPW9. Published open access by MPS 2020. DOI: 10.17617/2.3213520.
32. Kalashnikov Yu.V., Vasilyev R.V. The occurrence of thunderstorms and methods for their detection in the atmosphere of the Earth // Proc. Multidisciplinary Youth Academic Research Conference “Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century». Irkutsk, May 29, 2020. Irkutsk, 2020. P. 32–35. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43125879>.
33. Klimenko V. V., Klimenko M., Ratovsky K.G., Yasyukevich Yu.V., Zakharenkova I.E., Vasilyev R.V. F2 layer ionospheric response to the geomagnetic storms due to the global thermosphere redistribution // Proc. VII International Conference “Atmosphere, Ionosphere,

Safety”. June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 135–136. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

34. Kotova D., Klimenko M., Vesnin A.M., Klimenko V.V., Zakharov V.E., Rogov D., Blagoveshchensky D. Simulation of oblique sounding ionograms during St. Patrick's day 2015 geomagnetic storm: validation and investigation of the influence of the Earth's magnetic field // Proc. VII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”. June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 132–135. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

35. Kovalev I.I. History of cosmic ray discovery and research // Proc. Multidisciplinary Youth Academic Research Conference “Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century». Irkutsk, May 29, 2020. Irkutsk, 2020. P. 36–38. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43125870>.

36. Medvedev A. V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Vasilyev R.V., Artamonov M., Oinats A.V. Method for determining neutral wind velocity full vector by using IGWS propagating parameter statistics // Proc. VII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”. June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 3–6. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

37. Mylnikova A. A., Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M. Mutual comparison of methods for calculating the absolute vertical total electron content // Proc. VII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”. June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 119–122. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

38. Oinats A. V., Edemsky I.K., Rogov D. Comparison of the HF ground backscatter simulated using ionosphere model updated by VS and GIM TEC data // Proc. VII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”. June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 103–106. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

39. Perevalova N.P., Zherebtsov G.A., Serov M., Zhizherin V. Impact of atmospheric waves on the high-latitude ionosphere during launches from the Vostochny cosmodrome // Proc. VII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”. June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 45–47. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

40. Ratovsky K. G., Klimenko M., Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M., Klimenko, V.V. Statistical analysis of ionospheric total electron contents averaged over different latitudinal zones during geomagnetic storms // Proc. VII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”. June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 85–88. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

41. Serebriakova S.A. A machine learning model for estimating the intensity of the aurora borealis based on GPS data // Proc. Multidisciplinary Youth Academic Research Conference “Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century». Irkutsk, May 29, 2020. Irkutsk, 2020. P. 42–45. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43138822>.

42. Syrovatskii S. V., Yasyukevich A., Yasyukevich Yu.V. Effect of strong geomagnetic storm on GNSS precise point positioning quality // Proc. VII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”. June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 100–102. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

43. Tolstikov M. V., Oinats A.V., Medvedeva I.V., Nishitani N. Neutral wind azimuth estimating by statistic of TIDS 2D propagation parameters // Proc. VII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”. June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 41–45. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

44. Toropova M.S., Kashapova L.K. Solar flares // Proc. Multidisciplinary Youth Academic Research Conference “Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century». Irkutsk, May 29, 2020. Irkutsk, 2020. P. 45–47. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43138647>.

45. Yasyukevich A., Chernigovskaya M. A. Relation between variability in total electron content and winter polar stratosphere // Atmosphere, Ionosphere, Safety. Proceedings of VII In-

ternational Conference. June 7-13, 2020. - Kaliningrad: Algomat, 2020. - P. 19-22. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

46. Yasyukevich A., Yasyukevich Yu.V., Klimenko M., Vesnin A.M. Contribution of the plasmosphere to total electron content at middle and high latitudes // Proc. VII International Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety". June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 129–131. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

47. Zorkaltseva O. S., Vasilyev, R.V. Fabry-Perot interferometer observations of MLT during sudden stratospheric warmings's from 2016 to 2019 over Siberia / O. S. Zorkaltseva, R. V. Vasilyev // Proc. VII International Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety". June 7–13, 2020. Kaliningrad: Algomat, 2020. P. 53–55. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44098481&selid=44370773>.

### 5.5. Тезисы докладов на российских конференциях

1. Анфиногентов С.А., Накаряков В.М. Магнитогидродинамическая сейсмология спокойных солнечных активных областей // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 25. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

2. Анфиногентов С.А., Киселев В.И., Егоров Я.И., Мышьяков И.И., Кудрявцева А.В., Кочанов А.А. Диагностика коронального магнитного поля по данным наблюдений Сибирского радиогелиграфа // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 51. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

3. Афанасьев Н.Т., Трофимов Е.А., Чудаев С.О. Декаметровая радиодиагностика крупномасштабного облака турбулентной плазмы с искусственных спутников Земли // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 115. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

4. Афанасьев Н.Т., Чудаев С.О. Численно - аналитический метод расчета моментов траекторных характеристик ионосферных радиоволн // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 125. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

5. Афанасьев Н.Т., Танаев А.Б., Трофимов Е.А., Чудаев С.О. Декаметровая радиодиагностика облака хаотической плазмы с космического аппарата (РФФИ 19-52-44002) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

6. Афанасьев Н.Т., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Диагностика состояния стохастического трансionoсферного канала по траекторным характеристикам реперного сигнала (19-52-44002) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

7. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тацилин М.А., Васильев Р.В., Михалев А.В., Татарников А.В., Подлесный С.В., Щеглова Е.С. Оценка прозрачности атмосферы на основе данных широкоугольных оптических систем, предназначенных для регистрации свечения ночного неба в узких спектральных диапазонах // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциаль-

но опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

8. Богод В.М., Кузанын К.М., Лесовой С.В., Стороженко А.А., Тлатов А.Г., Pons O., Uratsuka M., Zaldívar R., Pablo S. Разработка проекта реконструкции гаванской радиоастрономической станции в составе российских служб Солнца и космической погоды // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 285. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

9. Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Еселевич В.Г., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Исследование поведения потока ионов солнечного ветра в области овершута // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 195. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

10. Быков А.Е., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М. Предсказание карт ПЭС и изменчивости ПЭС с помощью нейронных сетей // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

11. Васильев Р.В., Артамонов М. Ф., Белецкий А.Б., Веснин А.М., Лебедев В.П., Михалёв А.В., Подлесный С.В., Саункин А. В., Сыренова Т.Е. Совместные спутниковые и наземные исследования атмосферы Земли в ИСЗФ СО РАН // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

12. Вовченко И.В., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н., Мышьяков И.И. Визуализация и исследование магнитных структур в солнечной вспышке с подавленной эрупцией // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 54. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

13. Вовченко И.В., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н., Мышьяков И.И. Визуализация и исследование магнитных структур в солнечной вспышке с подавленной эрупцией // XVII конференция молодых ученых, посвященная дню космонавтики «Фундаментальные и прикладные космические исследования». Москва, 30 сентября – 2 октября 2020 г.: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. С. 136.

14. Головкин А.А. Начало 25 солнечного цикла // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 55. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

15. Головкин А.А., Салахутдинова И.И. Особенности выхода новых магнитных потоков 1-7 сентября 2017 г. активной области № 12673 // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 56. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

16. Громов С.В., Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Вальчук Т.Е., Громова Л.И. Сравнительный анализ циклических изменений крупномасштабного магнитного поля Солнца и временных вариаций солнечной и геомагнитной активности // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 215. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

17. Едемский И.К. Локализованные возмущения ПЭС в Южном полушарии Земли // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

18. Жукова А.В., Соколов Д.Д., Абраменко В.И., Хлыстова А.И. Проявления N-S-асимметрии на масштабах активных областей в 23-м и 24-м циклах // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 13. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

19. Жукова А.В., Хлыстова А.И., Соколов Д.Д., Абраменко В.И. Каталог активных областей с нарушением закона полярностей Хейла в 1989-2018 гг. // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 59. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

20. Завершинский Д.И., Молевич Н.Е., Рящиков Д.С., Накаряков В.М., Колотков Д.Ю. Исследование эволюции возмущения в плазме при различных режимах теплового дисбаланса // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 258. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

21. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Исследование вариаций некоторых характеристик магнитного поля в тени солнечных пятен активных областей до и после начала в них эруптивных процессов // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 29. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

22. Золотухина Н.А., Полех Н.М., Михалев А.В., Белецкий А.Б., Подлесный С.В. Динамика ионосферы и атмосферных свечений 17 марта 2015 г. в средних широтах (РФФИ 19-05-00665-а) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

23. Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Саункин А. В., Таюрская А.П. Исследование проявления стратосферной динамики в верхней атмосфере по данным интерферометра Фабри-Перо // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

24. Иванова В.А., Подлесный А.В., Поддельский А.И. Автоматическая интерпретация наименьших наблюдаемых частот в периоды солнечных вспышек (РФФИ 18-05-00539-а) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

25. Иванова В.А., Ойнац А.В., Подлесный А.В., Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Пономарчук С.Н., Рыбкина А.А. Регистрация волновых возмущений на высотах слоя Es по данным «Ионозонда-МС» и оптических инструментов ГФО ИСЗФ СО РАН в 2018 г. (РФФИ 19-05-00889-а) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

26. Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Анфиногентов С.А., Ступишин А., Лукичева М., Шендрик А.В. Плазменные струи в активных областях по наблюдениям в различных диапазонах // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 24. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

27. Киселев А., Коваadlo П.Г., Лукин В.П., Шиховцев А.Ю. Определение характеристик оптических турбулентных искажений на разных высотах для БАО // XXVII конференция «Аэрозоли Сибири», посвященная 100-летию со дня рождения акад. РАН К.Я. Кондратьева. 24–27 ноября 2020 г., Томск, Россия: тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2020. С. 114. <https://symp.iao.ru/ru/sa/27/i1>.
28. Киселев А., Коваadlo П.Г., Лукин В.П., Шиховцев А.Ю. Вариации интегральных характеристик оптической турбулентности и пространственных кросс-корреляционных функций, определенных по дрожанию суббизображений // XXVII конференция «Аэрозоли Сибири», посвященная 100-летию со дня рождения акад. РАН К.Я. Кондратьева. 24–27 ноября 2020 г., Томск, Россия: тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2020. С. 115. <https://symp.iao.ru/ru/sa/27/i1>.
29. Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. УНЧ-волны в магнитосфере Земли, генерированные суббурями // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 239. <https://plasma2020.cosmos.ru>.
30. Кузанын К.М., Анфиногентов С.А., Yang S., Yan Y. Propagation of magnetoacoustic waves in helical magnetic structures of sunspots // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 61. <https://plasma2020.cosmos.ru>.
31. Куприянова Е.Г., Кашапова Л.К., Брумол А.М., Ларионова А.И. Многоволновый анализ фазы спада усредненного профиля солнечной вспышки // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 62. <https://plasma2020.cosmos.ru>.
32. Лысенко А.Л., Кашапова Л.К., Хадсон Х.С., Фредерикс Д.Д., Голенецкий С.В., Ридная А.В., Свинкин Д.С., Цветкова А.Е., Уланов М.В., Аптекарь Р.Л. Залимбовые солнечные вспышки, зарегистрированные в эксперименте KONUS-WIND в 1994–2019 гг. // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 40. <https://plasma2020.cosmos.ru>.
33. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Сравнительный анализ эффектов зимних внезапных стратосферных потеплений в верхней атмосфере средних и высоких широт // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.
34. Медведева И.В. Исследование температурного режима области мезопаузы по наблюдениям гидроксильного излучения в Восточной Сибири // Всероссийская конференция, посвященная памяти акад. Александра Михайловича Обухова «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». Москва, ИФА РАН, 10–12 ноября 2020 г.: тезисы докл. М.: Физматкнига, 2020. С. 168. <http://ifaran.ru/science/conferences/Obukhov2020.html>.
35. Моторина Г., Лысенко А.Л., Анфиногентов С.А., Флейшман Г.Д. Энергетика мощных вспышек X класса в минимумах 22, 23 и 24 солнечных циклов // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 41. <https://plasma2020.cosmos.ru>.
36. Накаряков В.М., Колотков Д.Ю., Завершинский Д.И. Плазма короны Солнца как активная среда для магнитозвуковых волн // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 26. <https://plasma2020.cosmos.ru>.
37. Ойнац А.В., Едемский И.К. Сопоставление среднемасштабных вариаций электронной концентрации по данным спутников SWARM с данными КВ радара ЕКВ // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии монито-

ринга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

38. Ойнац А.В., Толстикова М.В. Статистические характеристики среднemasштабных перемещающихся ионосферных возмущений по данным многолетних наблюдений на КВ радаре ЕКВ // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

39. Петрашук А.В., Климушкин Д.Ю. Пространственная структура быстрого магнитного звука в кривом магнитном поле // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 174. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

40. Потапов А.С., Гульельми А., Довбня Б.В. Ультранизкочастотные эмиссии диапазона 0.1–3 Гц в приполярных областях // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 270. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

41. Потапов А.С., Полюшкина Т.Н. Отклик частотной структуры ИАР на вариации солнечной и магнитной активности в 24-м солнечном цикле (РФФИ-19-05-00574-а) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

42. Сорокин А.Г., Ключевский А.В. О механизме генерации инфразвуковых колебаний при землетрясении 29 марта 2019 г. в Хойтогольской впадине // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

43. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В. Географическая привязка кадров широкоугольных оптических систем (РФФИ 19-35-90093) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

44. Торопова М.С., Кашапова Л.К. Анализ эволюции механизмов излучения слабых солнечных вспышек по данным микроволнового рентгеновского диапазона в активных областях № 12565 и № 12567 // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 67. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

45. Файнштейн В.Г., Загайнова Ю.С., Обридко В.Н. Магнитная связь полушарий в экстремумах солнечного цикла // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 15. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

46. Хабитуев Д.С., Шпынев Б.Г., Черниговская М.А., Ясюкевич А.С. Спектры вариаций геомагнитного поля и их связь с долготными неоднородностями ионосферных возмущений в северном полушарии во время геомагнитных бурь (РФФИ № 18-05-00681-а) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

47. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Ясюкевич А.С., Хабитуев Д.С., Ратовский К.Г., Белинская А.Ю., Степанов А.Е., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А., Кобуа Д., Мелич Й. Долготные особенности неоднородностей среднеширотной ионосферы северного полушария во время магнитных бурь в условиях равноденствия (РФФИ № 18-05-00681-а) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

48. Шарыкин И.Н., Мышьяков И.И. Анализ динамики нагретой плазмы вблизи нейтральной линии магнитного поля по данным ультрафиолетовой обсерватории IRIS для солнечной вспышки M6.5 GOES класса, произошедшей 22 июня 2015 г. // Пятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». 10–14 февраля 2020 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. М., 2020. С. 74. <https://plasma2020.cosmos.ru>.

49. Шварцберг Ю.С., Ясюкевич Ю.В., Воейков С.В., Веснин А.М. Инструмент для оценки особенностей ГНСС зондирования на получаемые вариации ПЭС // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

50. Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В., Сыроватский С.В., Затолокин Д.А. Воздействие геомагнитной бури 25-26 августа 2018 г. на ионосферу и качество высокоточного позиционирования ГНСС (РФФИ 20-45-383010\_р-мол-а) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

51. Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Веснин А.М. Неотрицательное абсолютное полное электронное содержание по данным глобальных навигационных спутниковых систем (РФФИ-18-35-20038) // Восемнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». 16–20 ноября 2020, ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2020. <http://conf.rse.geosmis.ru>.

## 5.6. Тезисы докладов на международных конференциях

1. Chelpanov M., Mager O., Mager P., Klimushkin D. ULF waves registered with the Ekaterinburg radar: Statistical analysis and case studies // 22nd EGU General Assembly, 4–8 May, 2020, 2020. EGU2020-6901. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-6901.html>

2. Duann Y., Chang L., Chiu Y.C., Csar C., Salinas J.H., Dmitriev A.V., Ratovsky K.G., Medvedeva I.V., Vasilyev R.V., Mikhalev A.V., Liu J., Lin C. The development and validation of a photochemical model for atomic oxygen ion retrieval from ground-based airglow observations // JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 12–16 July, 2020: Abstracts. 2020. P. PEM12-36. <https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2020/subject/PEM12-36/advanced>.

3. Edemskiy I. Localized enhancements of total electron content in Southern Hemisphere // 22nd EGU General Assembly, 4–8 May, 2020, 2020. P. EGU2020-5300. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-5300.html>.

4. Edemsky I., Oinats A., Rogov D. Updating IRI Model Using Vertical Sounding and GIM TEC Data and Its Application for the Ekaterinburg HF Radar Data Simulation // URSI

GASS 2020 29 August – 5 September 2020, Rome, Italy: abstracts. G03-01. <http://www.ursi.org/proceedings/procGA20/programme.html>.

5. Klimenko M., Yasyukevich A., Yasyukevich Yury., Vesnin A. Plasmasphere Contribution to Total Electron Content at High and Middle Latitudes // URSI GASS 2020 29 August – 5 September 2020, Rome, Italy: Abstracts. G04-02. <http://www.ursi.org/proceedings/procGA20/programme.html>.

6. Kurkin V., Sheiner O., Vybornov F., Uryadov V., Pershin A. Results of observations of the ionosphere response to a partial solar eclipse on 11.08.2018 according to data from a network oblique sounding paths in the Eurasian region // URSI GASS 2020 29 August – 5 September 2020, Rome, Italy: Abstracts. G04-01. <http://www.ursi.org/proceedings/procGA20/programme.html>.

7. Oinats A., Tolstikov M., Medvedeva I., Nishitani N. Method for Estimating Neutral Wind Azimuth using 2D TID Propagation Parameters // URSI GASS 2020 29 August – 5 September 2020, Rome, Italy: Abstracts. G10-08. <http://www.ursi.org/proceedings/procGA20/programme.html>.

8. Oinats A., Medvedev A., Ratovsky K., Tolstikov M., Vasilyev R., Artamonov M. Measurement of neutral wind velocity full vector using the combined Irkutsk Incoherent Scatter Radar and ionosonde data // URSI GASS 2020 29 August – 5 September 2020, Rome, Italy: Abstracts. G10-07. <http://www.ursi.org/proceedings/procGA20/programme.html>.

9. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G., Suvorova A. Studying atmospheric and ionospheric variabilities in the mesopause and ionospheric F2-region during winter sudden stratospheric warmings of various types // JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 12-16 July, 2020: Abstracts. 2020. P. PEM12-05. <https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2020/subject/PEM12-05/advanced>.

10. Penzin M.S., Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I. The real-time diagnostics of HF radio channel on the base of ionospheric backscatter sounding data // URSI GASS 2020 29 August – 5 September 2020, Rome, Italy: Abstracts. G07-01. <http://www.ursi.org/proceedings/procGA20/programme.html>.

11. Rakhmatulin R.A. Variations of the Earth's magnetic field during fall of the Tunguska and Chelyabinsk bolides: analogies and differences // JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 12–16 July, 2020: Abstracts. 2020. P. PEM12-P22. <https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2020/subject/PEM12-P22/detail>.

12. Ratovsky K., Medvedeva I., Yasyukevich A., Shpynev B., Khabituev D. Correlation between wave activities in different layers of the atmosphere // 22nd EGU General Assembly, 4–8 May, 2020, 2020. P. EGU2020-6863. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-6863.html>.

13. Ratovsky K.G., Klimenko M., Klimenko V.V., Dmitriev A.V., Chang L. Atmospheric influence on relationship between solar and ionospheric 27-day variations // JpGU-AGU Joint Meeting 2020, 12–16 July, 2020: Abstracts. 2020. P. PEM12-12. <https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2020/subject/PEM12-12/advanced>.

14. Syrenova T., Vasilyev R., Beletsky A., Mikhalev A., Eselevich M. A technique for reconstructing the spatial characteristics of a long-lived meteor trails on all-sky cameras // 22nd EGU General Assembly, 4–8 May, 2020, 2020. id. 1168. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-1168.html>.

15. Vasilyev R., Zorkaltseva O. Study of temperature, wind speed and tides in the upper atmosphere from optical measurements during the 2017–2019 winter's // 22nd EGU General Assembly, 4–8 May, 2020, 2020. P. EGU2020-689. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-689.html>.

16. Vesnin A., Yasyukevich Y., Maletckii B., Kiselev A., Zhivetiev I., Edemskiy I., Syrovatskiy S. Total electron content driven data products of SIMuRG // 22nd EGU General Assembly, 4–8 May, 2020, 2020. P. EGU2020-21635. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-21635.html>.

17. Zorkal'tseva O.S., Mordvinov V.I., Dombrovskaya N.S., Pogoreltsev A.I. Dynamics of zonal mean characteristics of circulation in stratosphere and mesosphere in winter // 22nd EGU General Assembly, 4–8 May, 2020: Abstracts. 2020. P. EGU2020-295. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-295.html>.
18. Балабин Ю.В., Луковникова А.А., Гвоздевский Б.Б., Германенко А.В., Михалко Е.А., Янковский И.В. Новая секция НМ в Восточных Саянах // 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений». 10–13 марта 2020 г., Апатиты: тезисы докл. 2020. <http://pgia.ru:81/seminar>.
19. Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Комарова Е.С., Медведева И.В., Михалев А.В., Подлесный С.В., Ратовский К.Г., Сыренова Т.Е., Ткачев И.Д. Комплексные оптические и радиофизические исследования атмосферы Земли. Возможности существующих и новых инструментов ИСЗФ СО РАН // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 131. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
20. Гаврилов Н.М., Попов А.А., Перминов В.И., Перцев Н.Н., Медведева И.В., Аммосов П.П., Гаврильева Г.А., Колтовской И.И. Мезомасштабные вариации вращательной температуры гидроксила по наблюдениям на российских станциях // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 123. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
21. Громов С.В., Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Громова Л.И. Связь временных вариаций корональных выбросов массы и крупномасштабных событий в солнечном ветре с появлением SC в 23-м и 24-м циклах солнечной активности // 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений». 10–13 марта 2020 г., Апатиты: тезисы докл. 2020. <http://pgia.ru:81/seminar>.
22. Домбровская Н.С., Зоркальцева О.С., Мордвинов В.И. Особенности низкочастотных вариаций средних зональных характеристик циркуляции стратосферы и мезосферы в зимний период // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 129. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
23. Zhukov A., Yasyukevich Yu.V., Serebrennikova S.A., Vesnin A.M., Kiselev A.V. A machine learning model for estimating energy entering the magnetosphere in the auroral zone based on GPS/GLONASS data // 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений». 10–13 марта 2020 г., Апатиты: тезисы докл. 2020. С. 54. <http://pgia.ru:81/seminar>.
24. Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Домбровская Н.С. Зимняя динамика ветра и температуры в верхней атмосфере над югом Восточной Сибири // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 128. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
25. Иванова В.А., Подлесный А.В., Науменко А.А., Поддельский А.И. Методика полуавтоматической регистрации СМ ПИВ по данным наклонного зондирования // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 123. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
26. Иванова В.А., Пономарчук С.Н., Подлесный А.В. Точностные характеристики автоматической интерпретации данных вертикального зондирования // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 127. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
27. Ишин А.Б., Воейков С.В. Ионосферные эффекты землетрясения в Новой Зеландии 13 ноября 2016 г. // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 127. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
28. Караханян А.А., Молодых С.И. Сезонные изменения уходящей длинноволновой радиации по спутниковым данным // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы

и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 100. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

29. Киселев А.В., Коваadlo П.Г., Лукин В.П., Русских И.В., Шиховцев А.Ю. Результаты измерений характеристик оптической турбулентности в ночное время // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 34. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

30. Коваadlo П.Г., Киселев А.В., Колобов Д.Ю., Лукин В.П., Русских И.В., Шиховцев А.Ю. Изменения характеристик волнового фронта с высотой в месте расположения Байкальской астрофизической обсерватории // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 34. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

31. Коваadlo П.Г., Лукин В.П., Шиховцев А.Ю. На пути совершенствования систем адаптивной оптики в астрономии // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 36. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

32. Коваadlo П.Г., Шиховцев А.Ю., Язев С.А. О современном повышении температуры воздуха в северном полярном регионе // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 93. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

33. Klimenko M., Ovodenko V.D., Zakharenkova I.E., Oinats A.V., Ratovsky K.G., Kotova D., Nikolaev A.V., Tyutin I.V., Rogov D., Dmitriev A.V., Chugunin D.V., Chernyshov A.A., Klimenko V.V., Coxon J.C. Multi-scale ionospheric irregularities at high-latitudes during geomagnetic storm on 27–28 May 2017: morphology, development and interpretation // 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений». 10–13 марта 2020 г., Апатиты: тезисы докл. 2020. <http://pgia.ru:81/seminar>.

34. Klimenko M., Klimenko V.V., Zakharenkova I.E., Ratovsky K.G., Lukianova R., Cherniak Iu.V., Vasilyev R.V., Shpynev B.G., Chernigovskaya M.A., Yasyukevich A. Formation of the polar tongue of ionization and mid-latitude ionospheric disturbances during the 2015 St. Patrick's Day storm: Role of thermospheric perturbations // 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений». 10–13 марта 2020 г., Апатиты: тезисы докл. 2020. <http://pgia.ru:81/seminar>.

35. Куркин В.И., Полех Н.М., Золотухина Н.А. Влияние стратосферных потеплений на образование спорадических слоев над азиатским регионом России // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 119. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

36. Куркин В.И., Медведева И.В., Науменко А.А., Подлесный А.В., Чистякова Л.В., Поддельский А.И., Теслюк Ю.А. Исследование среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений над азиатским регионом России в 24 цикле солнечной активности // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 121. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

37. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Признаки аномального поведения ионосферы в 2003–2014 гг. (Иркутск) // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 115. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

38. Ларюнин О.А., Пономарчук С.Н. Численное моделирование дополнительных треков ионограммы вертикального зондирования в переходной фазе их слияния с основным треком // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 124. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.

39. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Отклик температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации на солнечную активность в текущем солнечном цикле //

- XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 132. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
40. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование эффектов зимнего внезапного стратосферного потепления на высотах мезопаузы и F2-области ионосферы по данным спектрометрических и радиофизических наблюдений // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 132. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
41. Пенских Ю.В., Лунюшкин С.Б. Автоматический метод диагностики границ авроральных овалов в двух полушариях на основе техники инверсии магнитограмм // 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений». 10–13 марта 2020 г., Апатиты: тезисы докл. 2020. С. 17–18. <http://pgia.ru:81/seminar>.
42. Podlesnyi A.V., Naumenko A., Cedrik M. Antenna coupling factor for topside ionosphere sounding by chirp signals // 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений». 10–13 марта 2020 г., Апатиты: тезисы докл. 2020. С. 52. <http://pgia.ru:81/seminar>.
43. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Котович Г.В., Куркин В.И., Науменко А.А., Ойнац А.В., Подлесный А.В. Корректировка параметров ионосферы по данным вертикального и возвратно-наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 118. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
44. Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Ойнац А.В. Исследование формы сигнала возвратно-наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 124. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
45. Syrenova T., Beletsky A.B., Vasilyev R.V., Mikhalev A.V. Reconstruction of long-lived meteor track spatial characteristics on all-sky cameras // 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений». 10–13 марта 2020 г., Апатиты: тезисы докл. 2020. <http://pgia.ru:81/seminar>.
46. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В., Михалев А.В. Оценка параметров метеорного следа на основе данных двухпозиционных оптических наблюдений // XXVI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 6–10 июля 2020 г., Москва: тезисы докл. М., 2020. С. 131. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/26/i4>.
47. Урядов В.П., Куркин В.И., Выборов Ф.И., Першин А.В., Шейнер О.А. Результаты наблюдений частного солнечного затмения 11 августа 2018 года на сети трасс наклонного зондирования ионосферы в Евроазиатском регионе // 43-й ежегодный семинар «Физика авроральных явлений». 10–13 марта 2020 г., Апатиты: тезисы докл. 2020. С. 61. <http://pgia.ru:81/seminar>.
48. Ясюкевич А.С., Сыроватский С.И., Ясюкевич Ю.В. Вариации ошибки высокоточного позиционирования ГНСС в периоды сильных геомагнитных бурь // XI международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений». с. Паратунка, Камчатский край, 22–25 сентября 2020 г.: тезисы докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2020. С. 9. <http://www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/2020-XI>.
49. Ясюкевич Ю.В., Жуков А.В., Ясюкевич А.С., Веснин А.М., Сидоров Д.Н. Машинное обучение для задач моделирования регулярной и нерегулярной динамики ионосферы // XI международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений». с. Паратунка, Камчатский край, 22–25 сентября 2020 г.: тезисы докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2020. С. 15. <http://www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/2020-XI>.
50. Ясюкевич Ю.В., Киселев А.В., Живетьев И.В., Едемский И.К., Малецкий Б.М., Сыроватский С.И., Жуков А.В., Сидоров Д.Н., Серебеникова С.А., Веснин А.М. Новые возможности изучения ионосферы с использованием системы SIMuRG (System for Ionosphere Monitoring and Research from GNSS) // XI международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений». с. Паратунка, Камчатский

край, 22–25 сентября 2020 г.: тезисы докл. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2020. С. 17–18. <http://www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/2020-XI>.

## 5.7. Монографии

1. Demyanov V.V., Sergeeva M.A., Yasyukevich A. GNSS High-Rate Data and the Efficiency of Ionospheric Scintillation Indices // *Satellite Missions and Technologies for Geosciences*. London: IntechOpen, 2020. P. 3–22. print ISBN: 978-1-78985-995-9; online ISBN: 978-1-78985-996-6; DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90078>.

2. Leonovich A.S., Kozlov D.A. Theoretical Studies of Standing Toroidal Alfvén Waves in Dipole-Like Magnetosphere // *Dayside Magnetosphere Interactions: John Wiley and Sons*, 2020. P. 175–188. (Geophysical Monographs Ser.; Vol. 249). ISBN 978-1-119-50963-9.

3. Жеребцов Г.А., Перевалова Н.П., Шпынев Б.Г., Медведева И.В., Ратовский К.Г., Хабитуев Д.С., Ясюкевич А.С. Волновые процессы в атмосфере Земли и их влияние на ионосферу. М.: ГЕОС. 2020. 198 с. ISBN 978-5-89118-818-1.

4. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Особенности развития высокоэнергичного гамма-излучения солнечных вспышек // *Астрономические исследования в Казахстане / под общей ред. М.Р. Нургужина*. Алматы, 2020. С. 333–342. (Казахстанские косм. иссл. Т. 12). ISBN - 978-601-332-805-8.

5. Перевалова Н.П., Ойнац А.В. Морфология ночных среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений в среднеширотной области F (обзор современных представлений). Иркутск: Изд-во ИГУ, 2020. 83 с. ISBN 978-5-9624-1871-1.

6. Язев С.А. Вселенная. Путешествие во времени и пространстве. Санкт-Петербург: ПИТЕР, 2020. 288 с. (Серия «New Science»).

## 5.8. Учебные пособия

1. Балахчи А.Г., Днепров И.С., Киселев А.В., Конечкая Е.В., Лутковская Е.А., Максудов А.В., Ойнац А.В., Ридли А.Н., Рослякова С.В., Рыбалка В.В., Скороварова Э.В., Сокольская М.А., Чистов П.А. Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада кружкового движения национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Т. 1. Профиль «Автоматизация бизнес-процессов». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 170 с. ISBN 978-5-00147-164-6.

2. Балахчи А.Г., Днепров И.С., Князев Н.А., Конечкая Е.В., Лутковская Е.А., Максудов А.В., Ойнац А.В., Киселев А.В., Ридли А.Н., Рослякова С.В., Сокольская М.А. Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада кружкового движения национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Т. 6. Профиль «Большие данные и машинное обучение». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 106 с. ISBN 978-5-00147-174-5.

3. Балахчи А.Г., Бибииков П.В., Валеев Р.И., Гариханов А.Д., Днепров И.С., Клячин А.М., Козлов П.А., Колотов А.В., Лутковская Е.А., Максудов А.В., Ойнац А.В., Ридли А.Н., Рослякова С.В., Сергеев В.В., Сокольская М.А., Стрыгин Н.А., Усманов Д.Р., Чермных Д.В., Фадеев М.Ю. Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада кружкового движения национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Т. 10. Профиль «Интеллектуальные робототехнические системы». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 218 с. ISBN 978-5-00147-182-0.

4. Балахчи А.Г., Днепров И.С., Конечкая Е.В., Лутковская Е.А., Максудов А.В., Меркульев М.Ю., Ойнац А.В., Петрушин И.С., Просекина И.Г., Просекин М.Ю., Ржечицкий А.Э., Ридли А.Н., Рослякова С.В., Сокольская М.А., Цивилева Д.М., Чекан М.А., Широков В.В. Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада кружкового движения национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Том 11. Профиль «Интеллектуальные энергетические системы». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 154 с. ISBN 978-5-00147-184-4.

5. Балахчи А.Г., Д.Д. Галов, А.Р. Джамирзе, И.С. Днепров, В.В. Дрюков, А.Д. Егоров, И.В. Залевский, О.В. Зубков, А.В. Зуйков, Н.В. Козлов, В.В. Крылов, М.Ю. Кузин, Ю.В. Куклина, Ф.В. Лебедев, Р.И. Лозко, Е.А. Лутковская, А.В. Максудов, А.В. Ойнац, А.Н. Ридли, С.В. Рослякова, М.А. Сокольская, А.С. Фирсов, А.А. Хашаев, П.Н. Черёмушкин, Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада Кружкового движения Национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Т. 12. Профиль «Информационная безопасность». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 118 с. ISBN 978-5-00147-186-8.

6. Балахчи А.Г., Бибииков П.В., Днепров И.С., Измайлов И.А., Колотов А.В., Лутковская Е.А., Лымаренко Л.Н., Максудов А.В., Ойнац А.В., Плевако М.Д., Ридли А.Н., Рослякова С.В., Сокольская М.А., Степанов В.М., Федосеев К.С. Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада кружкового движения национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Т. 18. Профиль «Программная инженерия финансовых технологий». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 244 с. ISBN 978-5-00147-198-1.

7. Бабич М.В., Балахчи А.Г., Блинов И.О., Днепров И.С., Добрынин Н.В., Кленин А.С., Крылов В.В., Кузин М.С., Лутковская Е.А., Максудов А.В., Малявин Н.В., Ойнац А.В., Ридли А.Н., Рослякова С.В., Сокольская М.А., Ян Т.В. Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада кружкового движения национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Т. 19. Профиль «Разработка приложений виртуальной и дополненной реальности: Виртуальная реальность». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 110 с. ISBN 978-5-00147-200-13.

8. Балахчи А.Г., Веснин А.М., Воловикова З.А., Днепров И.С., Киселев А.В., Конецкая Е.В., Лутковская Е.А., Максудов А.В., Мустакимов М.Ф., Ойнац А.В., Ридли А.Н., Рослякова С.В., Сокольская М.А., Угорская Я.А. Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада кружкового движения национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Т. 20: Профиль «Разработка приложений виртуальной и дополненной реальности: Дополненная реальность». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 162 с. ISBN 978-5-00147-202-5.

9. Балахчи А.Г., Бернгард О.И., Днепров И.С., Конецкая Е.В., Кушнарев Д.С., Лебедев В.П., Лутковская Е.А., Максудов А.В., Ойнац А.В., Петрушин И.С., Просекин М.Ю., Ржечицкий А.Э., Ридли А.Н., Рослякова С.В., Сокольская М.А., Цивилева Д.М. Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада кружкового движения национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Т. 22. Профиль «Технологии беспроводной связи». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 166 с. ISBN 978-5-00147-206-3.

10. Балахчи А.Г., Днепров И.С., Зубков О.В., Конецкая Е.В., Лутковская Е.А., Максудов А.В., Ойнац А.В., Потанин М.С., Ридли А.Н., Рослякова С.В., Сокольская М.А., Ульянов А.А. Командная инженерная олимпиада школьников «Олимпиада кружкового движения национальной технологической инициативы». Учебно-методическое пособие (в 28 т.) Т. 23. Профиль «Искусственный интеллект». М.: ООО «Ваш формат», 2020. 96 с. ISBN 978-5-00147-208-7.

## 5.9. РИД

1. Патент на изобретение № 2712464, бюлл. № 4, 29.01.2020. Авторы: Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Способ измерения вертикальных профилей показателя преломления воздуха для коррекции солнечных изображений.

2. Патент РФ на изобретение № 2738771, бюлл. № 35, 16.12.2020. Авторы: Челпанов А.А., Кобанов Н.И. Способ измерения времени распространения колебаний в солнечной атмосфере.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610169 от 10.01.2020. Медведева И.В., Перминов В.И. Расчет характеристик собственного излучения атмосферы в ближней инфракрасной области.

4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622816 от 25.12.2020. Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В., Едемский И.К., Веснин А.М., Киселев А.В., Сыроватский С.В., Малецкий Б.М. Полное электронное содержание и его вариации по данным мировой сети приемников сигналов GPS/ГЛОНАСС/Galileo/BeiDou.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020667757 от 29.12.2020. Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С. Программа для расчета числа сбоев сопровождения фазы навигационного сигнала ГНСС.

### 5.10. Электронные издания и препринты

1. Anfinogentov S.A., Nakariakov V.M., Pascoe D.J., Goddard C.R. Solar Bayesian Analysis Toolkit — a new Markov chain Monte Carlo IDL code for Bayesian parameter inference // arXiv.org. 2020. #arXiv:2005.05636v1. <https://arxiv.org/pdf/2005.05365.pdf>.

2. Belkin, S., Pozanenko A., Klunko E., Eselevich M., Mazaeva E., Volnova A. GRB 200613A: Mondy optical observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27978. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27978....1B/abstract>.

3. Belkin S., Pozanenko A., Shein A.V., Izvekova I.A., Klunko E., Eselevich M., Mazaeva E., Volnova A. GRB 200412B: continued Mondy and Terskol optical observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27610. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27610....1B/abstract>.

4. Belkin S., Pozanenko A., Shein A.V., Izvekova I.A., Klunko E., Eselevich M., Inasaridze R. Ya., Ayvazian V.R., Kapanadze G.V., Reva I., Mazaeva E., Volnova A., Molotov I. IKI FuN, GRB. GRB 200412B: continued AbAO, Mondy, TSHAO, Terskol optical observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27604. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27604....1B/abstract>.

5. Belkin S., Pozanenko A., Klunko E., Eselevich M., Mazaeva E., Volnova A. GRB 200412B: Mondy optical observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27583. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27583....1B/abstract>.

6. Belkin S., Pozanenko A., Klunko E., Eselevich M., Mazaeva E., Volnova A. IKI-GRB-FuN GRB 200325B: Mondy continued observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27481. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27481....1B/abstract>.

7. Belkin S., Panenko A., Klunko E., Eselevich M., Mazaeva E., Volnova A. IKI-GRB-FuN GRB 200325B: Mondy continued observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27468. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27468....1B/abstract>.

8. Belkin S., Pozanenko A., Klunko E., Eselevich M., Mazaeva E., Volnova A. IKI-GRB-FuN Team GRB 200325B: Mondy continued observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27467. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27467....1B/abstract>.

9. Belkin S., Pozanenko A., Klunko E., Eselevich M., Mazaeva E., Volnova A. IKI-GRB-FuN Team GRB 200325B: Mondy continued observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27465. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27465....1B/abstract>.

10. Belkin S., Pozanenko A., Klunko E., Sosnovskij A., Inasaridze R.Ya., Rumyantsev V., Eselevich M., Mazaeva E., Volnova A. IKI-GRB-FuN Team GRB 200325B: Mondy, CrAO, AbAO afterglow confirmation and refined photometry of MASTER OT J111012.51+274912.8 // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27455. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27455....1B/abstract>.

11. Burenin R., Eselevich M., Zaznobin I., Sazonov S., Sunyaev R. Bright emission lines in the optical spectrum and the redshift of the host galaxy of TDE candidate SRGet J143359.25+400638.5 // The Astronomer's Telegram. 2020. No. 13500. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020ATel13500....1B/abstract>.

12. Chelpanov A., Kobanov N. Multilevel observations of the oscillations in the first active region of the new cycle // arXiv.org. 2020. 2006.05223v1. <https://arxiv.org/pdf/2006.05223.pdf>.
13. Chelpanov M.A., Mager O.N. Observing drift compressional waves in the nightside ionosphere using the Ekaterinburg Radar // Polar Sci. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100630>.
14. Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Yasyukevich A.S., Khabituev D.S., Ratovsky K.G., Belinskaya A.Yu., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Grigorieva S.A., V.A.Panchenko, Koubag D., Mielich J. Longitudinal variations of geomagnetic and ionospheric parameters in the Northern Hemisphere during magnetic storms according to multi-instrument observations // Adv. Space Res. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.10.028>. (In print).
15. Grechnev V.V, Meshalkina N.S., Uralov A.M., Kochanov A.A., Lesovoi S.V., Myshyakov I.I., Kiselev V.I. Zhdanov D.A., Altyntsev A.T., Globa M.V. Twin null-point-associated major eruptive three-ribbon flares with unusual microwave spectra // arXiv.org. 2020. 2009.10350v1. <https://arxiv.org/pdf/2009.10350.pdf>.
16. Karlicky M., Kasparova J., Sych R. Radio, EUV, and X-ray observations during a filament rise in the 2011 June 7 solar flare // arXiv.org. 2020. # 2004.00122v1. <https://arxiv.org/pdf/2004.00122.pdf>.
17. Kashapova L.K., Kupriyanova E., Xu Z., Reid H.A.S., Kolotkov D. The origin of quasi-periodicities during circular ribbon flares // arXiv.org. 2020. # 2008.02010v1. <https://arxiv.org/pdf/2008.02010.pdf>.
18. Kitchatinov L.L. Flux-tubes forming instability near the base of the rotating convection zone: A possible explanation for low latitudes of sunspots // arXiv.org. 2020. 2003.09068v1. <https://arxiv.org/pdf/2003.09068.pdf>
19. Kitchatinov L.L., Potravnov I.S., Nepomnyashchikh A.A. Longitudinal drift of Tayler instability eigenmodes as a possible explanation for super-slowly rotating Ap stars // arXiv.org. 2020. 2003.00684v2. <https://arxiv.org/pdf/2003.00684.pdf>.
20. Kolotkov D. Y., Duckenfield T. J., Nakariakov V. M. Seismological constraints on the solar coronal heating function// arXiv.org. 2020. 2010.03364v1. <https://arxiv.org/pdf/2010.03364.pdf>. Astron. Astrophys. 2020. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039095>.
21. Li L., Wang X., Zheng W., Pozanenko S., Filippenko A., Qin S., Wang S., Jiang L., Li J., Lin D., Liang E., Volnova A., Elenin L., Klunko E., Ya R., Inasaridze R., Kusakin A., Lu R. GRB 140423A: A Case of Stellar Wind to Interstellar Medium Transition in the Afterglow // arXiv.org. 2020. 2006.05223v1. <https://arxiv.org/pdf/2006.05223.pdf>.
22. Li D., Ying L., Lei L., Zhang Q. Ning Z., Anfinogentov S. Observations of a quasi-periodic pulsation in the coronal loop and microwave flux during a solar preflare phase // arXiv.org. 2020. 2003.09567v1. <https://arxiv.org/pdf/2003.09567.pdf>.
23. Lyapin A., Zaznobin I., Khorungev G., Uskov G., Mereminskiy I., Burenin R., Sazonov S., Eselevich M., Gilfanov M., Lutovinov A., Pavlinsky M., Sunyaev R. Optical observations of the optical and X-ray transient ATLAS19bcxp = SRGA J043520.9+552226 = SRGE J043523.3+552234: a likely BL Lac object // The Astronomer's Telegram. 2020. No. 13576. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020ATel13576....1L/abstract>.
24. Mordvinov A., Karak B.B., Banerjee D., Chatterjee S., Golubeva E.M., Khlystova A. Long-term evolution of the Sun's magnetic field during cycles 15–19 based on their proxies from Kodaikanal Solar Observatory // arXiv.org. 2020. # 2009.11174v1. <https://arxiv.org/pdf/2009.11174.pdf>.
25. Pipin V.V. On the dynamo cycle variations with rotational period // arXiv.org. 2020. #2008.05083v1. <https://arxiv.org/pdf/2008.05083.pdf>.
26. Sokoloff D., Shibalova A.S., Obridko V.N., Pipin V.V. Shape of solar cycles and mid-term solar activity oscillations // arXiv.org. 2020. #2007.14779v2. <https://arxiv.org/pdf/2007.14779.pdf>.
27. Pipin V.V. The magnetic helicity density patterns from non-axisymmetric solar dynamo // arXiv.org. 2020. #2006.01982v2. <https://arxiv.org/pdf/2006.01982.pdf>.

28. Pipin V.V., Kosovichev A.G. Torsional oscillations in dynamo models with fluctuations and potential for helioseismic predictions of the solar cycles // arXiv.org. 2020. #2004.08537v2. <https://arxiv.org/pdf/2004.08537.pdf>.
29. Pozanenko A., Klunko E., Sosnovskij A., Eselevich M., Rumyantsev V., Belkin S., Mazaeva E., Volnova A. IKI-GRB-FuN Team GRB 200325B: Mondy and CrAO observations, Master MASTER OT J111012.51+274912.8 confirmation // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2020. No. 27452. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020GCN.27452....1P/abstract>.
30. Ratovsky K., Klimenko M., Vasilyev R., Klimenko V., Podlesnyi A. Vertical plasma transport in the ionosphere over Irkutsk during St. Patrick's Day geomagnetic storm: Observations and modeling // Adv. Space Res. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.10.021>. (In print).
31. Rudenko G.V., Dmitrienko I.S. Validity of NLFFF Optimization Reconstruction // arXiv.org. 2020. # 2001.05660v1. <https://arxiv.org/pdf/2001.05660.pdf>.
32. Sych R., Jess D., Su J. The dynamics of 3-minute wavefronts and their relation to sunspot magnetic fields // Philosophical Transactions of the Royal Society A. DOI: 10.1098/rsta.20200180. (Выйдет в 2021 г.). arXiv.org. 2020. # 2007.09369v1. <https://arxiv.org/pdf/2007.09369.pdf>.
33. Yang S., Pipin V.V., Sokoloff D.D., Kuzanyan K.M., Zhang H. The origin and effect of hemispheric helicity imbalance in solar dynamo // arXiv.org. 2020. # arXiv.1912.11285v2. <https://arxiv.org/pdf/1912.11285.pdf>.
34. Zaznobin I., Eselevich M., Burenin R., Sazonov S., Gilfanov M., Sunyaev R. Optical photometry of the X-ray/optical transient SRGe J195057.5+672122 // The Astronomer's Telegram. 2020. No. 13990. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020ATel13990....1Z/abstract>.
35. Zaznobin I., Burenin R., Eselevich M., Sazonov S., Pavlinsky M., Sunyaev R. Russian SRG/eROSITA Consortium. Optical spectroscopy of the ZTF19aacomym transient in WISEA J014421.10+500657.0 // The Astronomer's Telegram. 2020. No. 13531. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020ATel13531....1Z/abstract>.
36. Zhukova A., Khlystova A., Abramenko V., Sokoloff D. A Catalog of Bipolar Active Regions Violating the Hale Polarity Law, 1989–2018 // arXiv.org. 2020. # 2010.14413v1.
37. Zorkaltseva O.S. Vasilyev R.V. Stratospheric influence on MLT over mid-latitudes in winter by Fabry-Perot interferometer data // Ann. Geophys. 2020. [doi.org/10.5194/angeo-2020-73](https://doi.org/10.5194/angeo-2020-73). (In review).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Структура Института</b>	3
<b>1. Научно-организационная деятельность согласно постановлению Правительства РФ № 1504 от 26.12.2014 г. «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство объектов капитального строительства «Укрупненный инвестиционный проект «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук», 1 этап», распоряжению Правительства от 01.12.2018 №2659-р.</b>	6
<b>2. Основные научные результаты</b>	13
2.1 Исследования в области физики Солнца, радиоастрофизики и космических лучей	13
2.1.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности	13
2.1.1.1. Длительный цикл крутильных колебаний Солнца	13
2.1.1.2. Реконструкция магнитных полей Солнца в циклах 15–19 по данным обсерватории Кодайканал	14
2.1.1.3. Реструктуризация магнитных полей Солнца и центры вспышечной активности в цикле 24	15
2.1.2. Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере	16
2.1.2.1. Моделирование эффекта радиоэха в турбулентной солнечной короне	16
2.1.2.2. Свойства локальных колебаний в нижней атмосфере над солнечным пятном	17
2.1.2.3. Концентрация низкочастотных колебаний в фотосфере, предшествующая появлению активной области	18
2.1.2.4. Вспышечная модуляция р-мод как средство зондирования верхней солнечной атмосферы	18
2.1.2.5. Пространственные и временные вариации формы контуров линии К Ca II	19
2.1.3. Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца	21
2.1.3.1. Метод ранней диагностики солнечного цикла	21
2.1.3.2. Причина высокой скорости КВМ, вызванного эрупцией протуберанца вне активных областей	21
2.1.3.3. Парные трехленточные вспышки, наблюдавшиеся на Сибирском радиогелиографе	22
2.1.4. Развитие оптических и радиолокационных методов измерений для решения задач в области астероидно-кометной опасности и техногенного засорения космического пространства	23
2.1.4.1. Наблюдения космического мусора в области орбит глобальных навигационных спутниковых систем	23
2.1.4.2. Спектроскопические наблюдения первых кандидатов в далекие рентгеновские квазары ( $z \sim 4$ ) среди источников, открытых орбитальной обсерваторией СРГ	24
2.1.4.3. Спектроскопия и кинематика V1117 Her — высокоширотной звезды типа UX Ori	25
2.1.5. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей	26

2.1.5.1. Форбуш-эффект и геомагнитная буря в апреле 1990 г.	26
2.1.5.2. Возмущенная магнитосфера 7–8 ноября 2004 г. и вариации жесткости обреза космических лучей: широтные эффекты	27
2.1.5.3. Изучение мощных вспышек на Солнце	27
2.1.5.4. Рентгеновские вспышки и комплексы активности на Солнце	28
2.1.5.5. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН	29
2.2. Исследования в области физики околоземного космического пространства	30
2.2.1. Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства	30
2.2.1.1. Исследование вертикального дрейфа ионосферной плазмы во время геомагнитной бури св. Патрика	30
2.2.1.2. Статистический анализ ионосферного отклика на геомагнитные бури с использованием данных глобальных ионосферных карт	31
2.2.1.3. Алгоритмы прогноза уровня шума в диапазоне 8–20 МГц и их использование для морфологических исследований вариаций ионосферного поглощения на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН	32
2.2.1.4. Синтез симметричных зондирующих последовательностей для Екатеринбургского когерентного декаметрового радара	33
2.2.1.5. Сравнение индексов ионосферной возмущенности AATR и WTEC, построенных на основе полного электронного содержания	34
2.2.1.6. Анализ развития декаметровых радаров	35
2.2.1.7. Развитие методов коррекции ионосферных моделей на основе данных глобальных навигационных спутниковых систем	36
2.2.1.8. Разработка современного нагревного стенда для исследования ионосферы средних широт	37
2.2.1.9. Разработка всеатмосферного радара НР-МСТ	38
2.2.1.10. Разработка нового метода восстановления профиля электронной концентрации по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния	39
2.2.1.11. Разработка метода оценки азимута нейтрального ветра по распределениям азимутов внутренних гравитационных волн	40
2.2.1.12. Результаты длительных наблюдений солнечного потока на Иркутском радаре некогерентного рассеяния	41
2.2.2. Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли	42
2.2.2.1. Инверсия ионограмм возвратно-наклонного зондирования в параметры квазипараболического ионосферного слоя	42
2.2.2.2. Корректировка параметров ионосферы по данным вертикального и возвратно-наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом	43
2.2.2.3. Исследование формы сигнала возвратно-наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом	44
2.2.2.4. Оперативная диагностика КВ-радиоканала по данным возвратно-наклонного зондирования ионосферы	45

2.2.2.5. Численное моделирование дополнительных треков ионограммы вертикального зондирования в переходной фазе их слияния с основным треком	46
2.2.2.6. Исследование среднemasштабных перемещающихся ионосферных возмущений над Азиатским регионом России в 24-м цикле солнечной активности	47
2.2.2.7. Пространственно-временное развитие ионосферных неоднородностей различных масштабов в Центральной и Восточной Сибири во время геомагнитной бури 27–28 мая 2017 г.	47
2.2.2.8. Подход обобщенной силы к идентификации верхних и нижних лучей в задаче двухточечной трассировки ионосферных лучей	48
2.2.2.9. Методика полуавтоматической регистрации СМ ПИВ по данным наклонного зондирования	49
2.2.3. Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат	50
2.2.3.1. Сезонные изменения уходящей длинноволновой радиации и приповерхностной температуры в спокойных геомагнитных условиях	50
2.2.3.2. Анализ результатов исследования и моделирования низкочастотных вариаций метеорологических полей в бароклинной механистической модели МСВА	51
2.2.3.3. Проявления солнечной активности в интегральном свечении ночной атмосферы Земли по данным наблюдений в 24-м солнечном цикле	52
2.2.3.4. Оценка отношений основных нейтральных составляющих термосферы в 2014–2017 гг. на высотах ионосферного слоя F1 над Иркутском	53
2.2.3.5. Атмосфера над Норильском ниже 200 км в условиях минимума и максимума солнечной активности	54
2.2.3.6. Особенности влияния геомагнитной активности на уровень возмущенности полного электронного содержания	55
2.2.3.7. Метод оценки абсолютного наклонного и вертикального полного электронного содержания на основе данных GPS/ГЛОНАСС/Galileo/BeiDou	56
2.2.4. Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера – ионосфера – магнитосфера Земли	57
2.2.4.1. Исследование взаимосвязи высоты максимума электронной концентрации с вертикальным и меридиональным ветрами по трем зимним сезонам	57
2.2.4.2. Исследование поведения зимней ночной температуры и зеленого свечения атомарного кислорода в мезосфере — нижней термосфере	58
2.2.4.3. Исследование волновой активности в верхней нейтральной атмосфере и ионосфере в периоды действия зимних внезапных стратосферных потеплений	59
2.2.4.4. Исследование мезомасштабных вариаций характеристик излучения гидроксила по данным долговременных спектрометрических наблюдений на геофизических станциях Торы ИСЗФ СО РАН и Звенигород ИФА РАН	60
2.2.4.5. Исследование оптических и ионосферных эффектов от полетов космических объектов на высотах мезосферы — нижней термосферы	61

2.2.4.6. Исследование особенностей реакции ионосферы на метеорологические и геомагнитные возмущения в различных долготных секторах Евразийского континента	62
2.2.4.7. Определение двойных начал взрывной фазы суббури по короткопериодным всплесковым пульсациям	63
2.2.4.8. Моделирование процесса переноса тепла в ионосфере и плазмосфере	64
2.2.4.9. Влияние стратосферных потеплений на образование спорадических слоев над Азиатским регионом России	65
2.2.5. Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве	66
2.2.5.1. Поперечный резонатор для ионно-ионных гибридных волн в дипольной магнитосферной плазме	66
2.2.5.2. Численное N-body-моделирование гравитационной конусной неустойчивости в окрестности черной дыры в центре сферических галактик	67
2.2.5.3. Две моды ионно-ионных гибридных волн в магнитосферной плазме	68
2.2.5.4. Регистрация УНЧ-волн с помощью Екатеринбургского радара когерентного рассеяния: статистический анализ	69
2.2.5.5. Метод оценки электронной концентрации в слое F2 ионосферы без радиозондирования	70
2.2.5.6. Дискретные частотно-диспергированные сигналы в полярных шапках	70
2.2.5.7. Обоснованность нелинейной бессиловой реконструкции поля методом оптимизации	71
2.2.5.8. Ускорение ионов во фронте нелинейных вистлеров	72
2.2.5.9. Пространственная структура азимутально-мелкомасштабных МГД-волн в одномерно-неоднородной плазме конечного давления с кривыми силовыми линиями	73
2.2.5.10. Фокусировка быстрых магнитозвуковых волн в дневной магнитосфере	73
2.2.5.11. Баллонная неустойчивость в магнитосферной плазме: двумерный анализ собственных мод	74
2.2.5.12. Свойства и эволюция кинетических магнитных дыр в солнечном ветре	75
2.2.5.13. Теоретические исследования тороидальных альфвеновских волн в диполеподобной магнитосфере	76
2.2.6. Развитие новых методов прогноза солнечной и геомагнитной активности	77
2.2.6.1. Сопоставление кинематики солнечных эруптивных протуберанцев и пространственного распределения индекса магнитного убывания	77
2.3. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики	78
2.3.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента	78
2.3.1.1. Разработка монохроматического фильтра Шольца на основе полного внутреннего отражения (ПВО) в объеме оптически активного монокристалла	78
2.3.1.2. Различие измерений крупномасштабных магнитных полей Солнца в спектральных линиях видимого и инфракрасного диапазонов в контексте проблем космической погоды	78

2.3.1.3. Методика адаптивной компенсации задержек распространения сигналов в приемном тракте многоволнового Сибирского радиогелиографа (СРГ-48)	79
2.3.1.4. Изучение астроклиматических характеристик и проблем улучшения качества изображений крупных солнечных телескопов	80
2.3.1.5. Создание широкоугольного зеркального объектива	81
<b>3. Работа обсерваторий, Центра коллективного пользования «Ангара», уникальных научных установок</b>	82
3.1. Байкальская астрофизическая обсерватория	82
3.2. Саянская солнечная обсерватория	83
3.3. Радиоастрофизическая обсерватория	86
3.4. Геофизическая обсерватория	88
3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы	90
3.6. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория	91
3.6.1. Магнитная обсерватория	91
3.6.2. Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория	92
3.7. Норильская магнитно-ионосферная станция	93
3.7.1. Пункт Исток	93
3.8. Центр коллективного пользования «Ангара»	94
3.9. Когерентные декаметровые радары ИСЗФ СО РАН	95
3.10. Уникальные научные установки	96
3.10.1. Сибирский солнечный радиотелескоп	96
3.10.2. Иркутский радар некогерентного рассеяния	97
3.10.3. Большой солнечный вакуумный телескоп	99
<b>4. Научно-организационная деятельность</b>	100
4.1. Общие сведения	100
4.2. Деятельность Ученого совета	104
4.3. Деятельность диссертационного совета	104
4.4. Международное сотрудничество	104
4.5. Издательская деятельность	107
4.6. Работа библиотеки	107
4.7. Работа с вузами	108
4.8. Работа Научно-образовательного центра	109
4.9. Работа музея ИСЗФ СО РАН	110
4.10. Работа Совета научной молодежи Института	111
4.11. Проведение научных мероприятий	112
4.12. Участие в выставках	113
4.12.1. Российские	113

4.12.2. Международные	114
<b>5. Публикации</b>	114
5.1. Статьи в отечественных журналах, включая переводные	114
5.2. Статьи в иностранных журналах	122
5.3. Доклады в сборниках российских конференций	128
5.4. Доклады в сборниках международных конференций	130
5.5. Тезисы докладов на российских конференциях	134
5.6. Тезисы докладов на международных конференциях	139
5.7. Монографии	144
5.8. Учебные пособия	144
5.9. РИД	145
5.10. Электронные издания и препринты	146

Отв. редактор *И.И. Салахутдинова*  
Редакторы *Н.О. Волкова, М.В. Никонова*  
Технические редакторы *М.В. Никонова, Н.О. Волкова*

Отчет утвержден Ученым советом ИСЗФ СО РАН 13 апреля 2021 г., протокол № 2.

\*\*\*\*\*

Сдано в набор 10.12.2020 г. Подписано к печати 29.01.2021 г.  
Формат 60×90 1/8. Гарнитура *Times New Roman*.  
Усл. печ. л. 19,3. Уч.-изд. л. 23,25. Тираж 50. Заказ № 196.

\*\*\*\*\*

***Отпечатано в издательском отделе ИСЗФ СО РАН,  
Иркутск, Лермонтова 126А, а/я 291,  
и в ИП Юмашев Олег Николаевич,  
664001, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1***