

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

**О Т Ч Е Т
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 2017 г.**



Иркутск, 2018

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

Врио директора Института — д.ф.-м.н. А.В. Медведев.

Основные научные направления Института

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

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

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

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

1. СТРУКТУРА ИНСТИТУТА

Научные подразделения

Отдел физики околоземного космического пространства

Рук. отд. — д.ф.-м.н. В.И. Куркин

Руководитель научного направления по радиофизике — чл.-корр. РАН А.П. Потехин

- Лаборатория физики ионосферно-магнитосферного взаимодействия, зав. лаб. — д.ф.-м.н. А.В. Тацилин;

- Лаборатория изучения плазменно-волновой структуры магнитосферы, зав. лаб. — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климускин;

- Лаборатория развития новых методов радиофизической диагностики атмосферы, зав. лаб. — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский;

- Лаборатория физики нижней и средней атмосферы, зав. лаб. — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев;

- Лаборатория исследования динамических процессов в ионосфере, зав. лаб. — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт;

- Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория, 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. Заворин;
- 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, и.о. 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. Скомо- ровский;
- 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 — к.ф.-м.н. А.А. Луковникова.

Конструкторский отдел

Зав. отд. — А.Я. Смольков

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

Научно-вспомогательные подразделения

- Редакционно-издательский отдел, зав. отделом — М.В. Никонова;
- Научная библиотека, зав. библиотекой — О.Н. Капуркина;
- Патентный отдел, зав. отделом — д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов;
- Первый отдел, нач. отдела — Л.Ф. Алешкова;
- Группа переводчиков;
- Группа научно-технической информации.

Отдел по защите информации и сетевому сопровождению

Зав. отд. — А.В. Джурик.

Административно-хозяйственные подразделения

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

Руководство Института

<i>Врио директора</i>	д.ф.-м.н. А.В. Медведев
<i>Научный руководитель Института</i>	академик Г.А. Жеребцов
<i>Заместители директора по научной работе</i>	д.ф.-м.н. С.В. Олемской д.ф.-м.н. М.Л. Демидов к.ф.-м.н. С.В. Лесовой
<i>Заместитель директора по научной работе и иннова- ционной деятельности</i>	к.ф.-м.н. В.В. Хахинов
<i>Заместитель директора по международной научной деятельности</i>	к.ф.-м.н. Р.А. Сыч
<i>Руководитель научного нап्रा- вления по физике Солнца</i>	чл.-корр. РАН В.М. Григорьев
<i>Руководитель научного нап्रा- вления по радиофизике</i>	чл.-корр. РАН А.П. Потехин
<i>Руководитель научного нап्रा- вления по радиоастрофизике</i>	д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев
<i>Ученый секретарь</i>	к.ф.-м.н. И.И. Салахутдинова
<i>Заместитель директора по общим вопросам</i>	А.Ю. Куликов
Адрес:	664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 126-а
Телефон:	(3952) 42-82-65
Факс:	(3952) 51-16-75, (3952)42-55-57
e-mail:	uzel@iszf.irk.ru
web:	www.iszf.irk.ru

2. ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ СОЛНЦА, РАДИОАСТРОФИЗИКИ И КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Научные исследования выполнялись в отделах физики Солнца и радиоастрофизики.

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 и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач».

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

1.1. Проект П.16.1.5 «Развитие оптических и радиолокационных методов измерений для решения задач в области астероидно-кометной опасности и техногенного засорения космического пространства». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич.

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

2. Программа фундаментальных исследований СО РАН П.16.3 «Физика Солнца и астрофизическое приборостроение». Координатор — чл.-корр. РАН В.М. Григорьев.

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

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

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

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

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

4. Программа Президиума РАН № 7 «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд. Переходные и взрывные процессы в астрофизике». Координаторы — академик Л.М. Зеленый, чл.-корр. РАН Б.М. Шустов.

4.1. Проект «Фотометрические наблюдения и исследования нестационарных астрофизических объектов на телескопе АЗТ-ЗЗИК». Руководитель проекта — чл.-корр. РАН В.М. Григорьев.

4.2. Проект «Радиоастрономические исследования динамических процессов в солнечной короне». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

4.3. Проект «Методы диагностики процессов солнечной активности и ее проявлений в ММП, магнитосфере и ионосфере Земли». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

5. Программа Президиума РАН № 23 «Физика высоких энергий и нейтринная астрофизика». Координатор — академик В.А. Рубаков.

5.1. Проект «Космические лучи в гелиосферных процессах по наземным и стратосферным наблюдениям». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

6. Программа Президиума РАН № 31 «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности. Фундаментальные исследования процессов горения и взрыва. Актуальные проблемы робототехники». Координаторы — академик Ю.М. Михайлов, академик В.А. Левин, академик Ф.Л. Черноусько.

6.1. Проект «Фундаментальные основы мониторинга и контроля околоземного космического пространства в оптическом диапазоне». Руководитель проекта — чл.-корр. РАН В.М. Григорьев.

Выполнялся грант РФФИ № 17-72-10076 «Комплексное исследование эволюции магнитозвуковых волн для решения задач МГД-сейсмологии солнечной короны». Руководитель — к.ф.-м.н. А.Н. Афанасьев.

Выполнялось 10 грантов РФФИ:

1. 15-02-01089-а «Солнечные вспышки в микроволнах: от формирования токовых слоев до импульсной стадии». Научный руководитель — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

2. 15-02-03717-а «Исследование процессов ускорения частиц в солнечных вспышках на основе уникальных наблюдений гамма-спектрометра «Конус-Винд» и Сибирского солнечного радиотелескопа». Научный руководитель — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

3. 15-02-01077-а «Исследование возникновения и движения корональных выбросов массы и связанных с ними ударных волн по многоволновым данным». Научный руководитель — д.ф.-м.н. В.Г. Файнштейн.

4. 16-32-00268-мол-а «Поиск наблюдательных проявлений альфвеновских волн в атмосфере солнечных факелов». Научный руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Челпанов.

5. Научный руководитель — к.ф.-м.н. Я.И. Егоров.

6. 17-52-77005 «Динамические плазменные процессы в гелиосфере: от Солнца до Земли». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

7. 17-02-00016-а «Глобальные максимумы солнечной и звездной активности», руководитель проекта — д.ф.-м.н. Л.Л. Кичатинов.

8. 17-52-18050 Болг_а 2017 «Источники солнечных космических лучей: солнечные вспышки или выбросы корональной массы?». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. Л.К. Кашапова.

9. 17-52-80064 БРИКС_а «Супервспышки на звездах и Солнце». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

10. 17-32-50046_мол_нр_2017 «Прогноз 25-го цикла в терминах полного потока излучения Солнца». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов.

Выполнялись:

- Работы по укрупненному инвестиционному проекту «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН». Научный руководитель — акад. Г.А. Жеребцов.
- Прикладные работы в рамках хозяйственных договоров.

2.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности

2.1.1. Измерения крупномасштабных магнитных полей Солнца

В 2017 г. выполнены измерения крупномасштабных магнитных полей Солнца, наблюдения активных областей и комплексов активности. На Солнечном телескопе оперативных прогнозов (СТОП) Саянской солнечной обсерватории в рамках проекта СО РАН П.16.3.1. «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности» выполнялись регулярные измерения напряженности общего магнитного поля Солнца, регистрировались полнодисковые магнитограммы, показывающие распределение крупномасштабных магнитных полей по диску Солнца. Общее число дней наблюдений в январе–ноябре 2017 г. составило 70. Проведено 66 измерений напряженности общего магнитного поля Солнца и получено 30 магнитограмм крупномасштабных магнитных полей.

2.1.2. Исследование магнитного поля и движений плазмы в процессе возникновения и эволюции активных областей

На примере двух малых активных областей (АО) по данным космической обсерватории SOHO обнаружен мощный подъем плазмы на начальной стадии их образования. Наибольшие значения скоростей достигают 1650 м/с. Аналогичные течения были найдены ранее при возникновении большой АО. Быстрые восходящие течения на ранней фазе образования АО разных размеров указывают на выход элементарных магнитных потоков со схожими первоначальными свойствами. Существуют две разные движущие силы восходящих течений плазмы, зависящих от стадии развития. Непосредственно перед тем, как магнитный поток достигает фотосферы, усиленные восходящие течения обусловлены градиентом газового давления, в то время как после появления магнитного потока в фотосфере ключевую роль играет градиент магнитного давления.

Ранее по материалам SOHO было обнаружено, что при формировании солнечного пятна с развитием полутени одновременно происходило постепенное отделение внешних участков продольного магнитного поля радиально от пятна, в результате чего образовался ров и квазиколецевая структура магнитного поля. Данные Обсерватории солнечной динамики (Solar Dynamical Observatory, SDO) с более высоким пространственным разрешением показали, что при образовании полутени вблизи границы тень–полутень возникают локальные области подъема вещества, после чего формируются отдельные спайны. Выход магнитных элементов из полутени в результате отделения концов спайнов начинается спустя 1–1.5 ч после образования спайна. В развитой полутени выход магнитных элементов носит массовый характер, иногда групповой выход элементов поля образует структуры движущихся лент. Скорости движения магнитных элементов, отделившихся от спайнов, в 2–3 раза меньше скоростей элементов, отделившихся от межспайновых волокон. Полученные результаты согласуются с «непричесанной моделью» магнитного поля полутени.

2.1.3. Изменения магнитных полей и микроволнового излучения солнечной вспышки 11 февраля 2014 г.

При интерпретации микроволновых наблюдений вспышки класса M1.7 11 февраля 2014 г. в АО 11974, проведено восстановление трехмерной структуры магнитного поля АО в приближении нелинейного бессилового поля с помощью оптимизационного метода. В структуре восстановленного поля выделена силовая трубка, основания которой совпадают с положением источников жесткого рентгеновского излучения, а верхняя часть — с источником микроволнового радиоизлучения. С использованием информации о восстановленном поле построены синтетические радиокарты, свернутые с диаграммой направленности Nobeyama Radio Heliograph (NoRH) и сопоставленные с данными наблюдений этой обсерватории. Обнаружено, что синтетические карты интенсивности согласуются с наблюдательными данными, а линия инверсии знака синтетических карт поляризации имеет тот же наклон, что и в наблюдательных данных NoRH. Полученные результаты указывают на то, что вспышечное событие произошло в существенно непотенциальной конфигурации магнитного поля, которую удалось восстановить с высокой степенью точности с помощью применения оптимизационного метода.

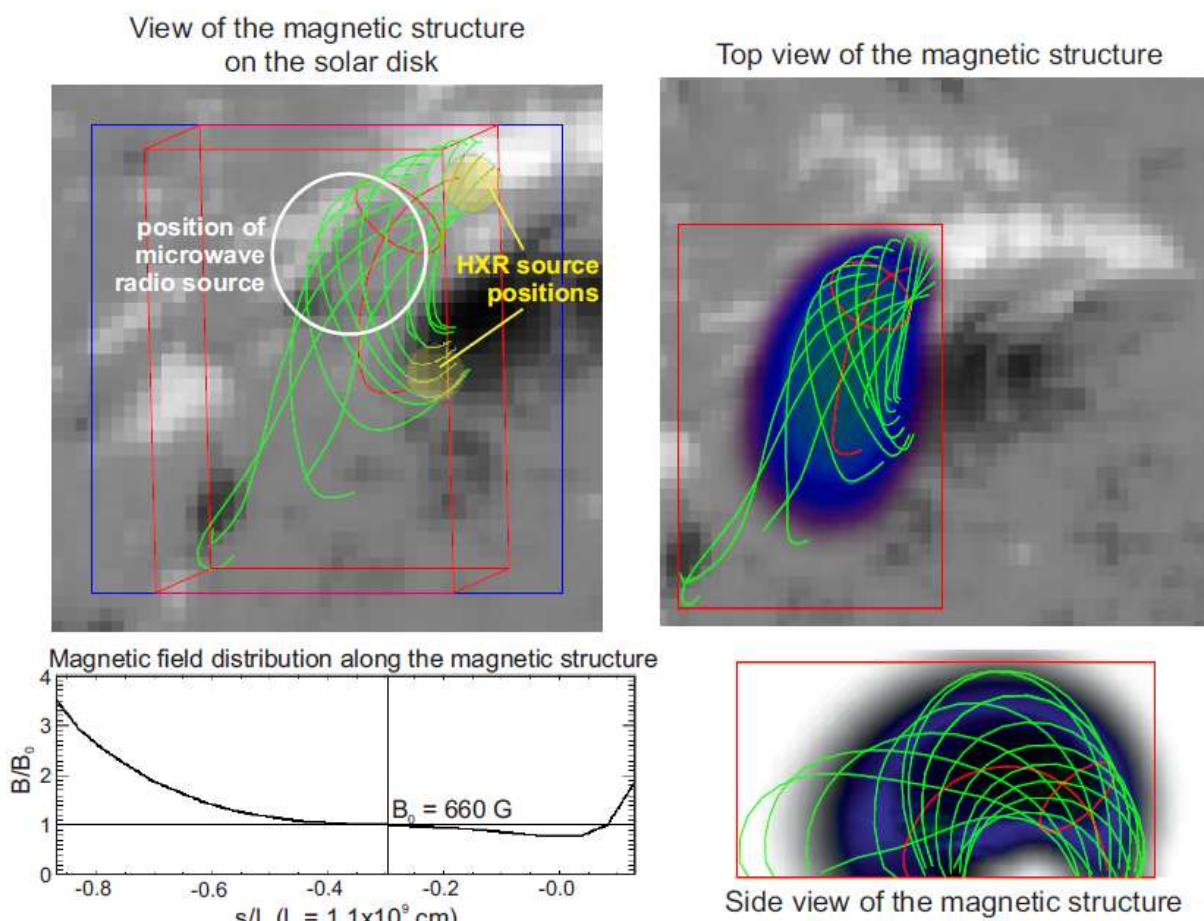


Рис. 1. Магнитная петля, выбранная для моделирования микроволнового излучения; магнитное поле было реконструировано с использованием бессилового подхода. Фактическая ориентация магнитной петли (как видно на Земле) показана сверху слева. Верхний и боковой виды магнитной петли с модельным распределением нетепловых электронов внутри нее (синий цвет) представлены соответственно сверху и внизу справа. Слева внизу: распределение магнитного поля вдоль оси петли

2.1.4. Глобальная реорганизация магнитных полей Солнца и формирование полярных корональных дыр в циклах 23 и 24

Установлено, что после распада долгоживущих центров активности происходят процессы, охватывающие все слои атмосферы Солнца. В фотосфере формируются униполярные магнитные области, которые переносятся в высокие широты меридиональными течениями. В короне формируются ансамбли корональных дыр (КД), играющие важную роль в глобальной реорганизации открытого магнитного потока. По мере переноса униполярных магнитных областей к полюсам внутри них формируются высокоширотные КД, которые затем превращаются в полярные. Рисунок 2 показывает причинно-следственные связи между различными проявлениями солнечной активности. Детальные пояснения доступны по ссылке <http://rdcu.be/yqZf>.

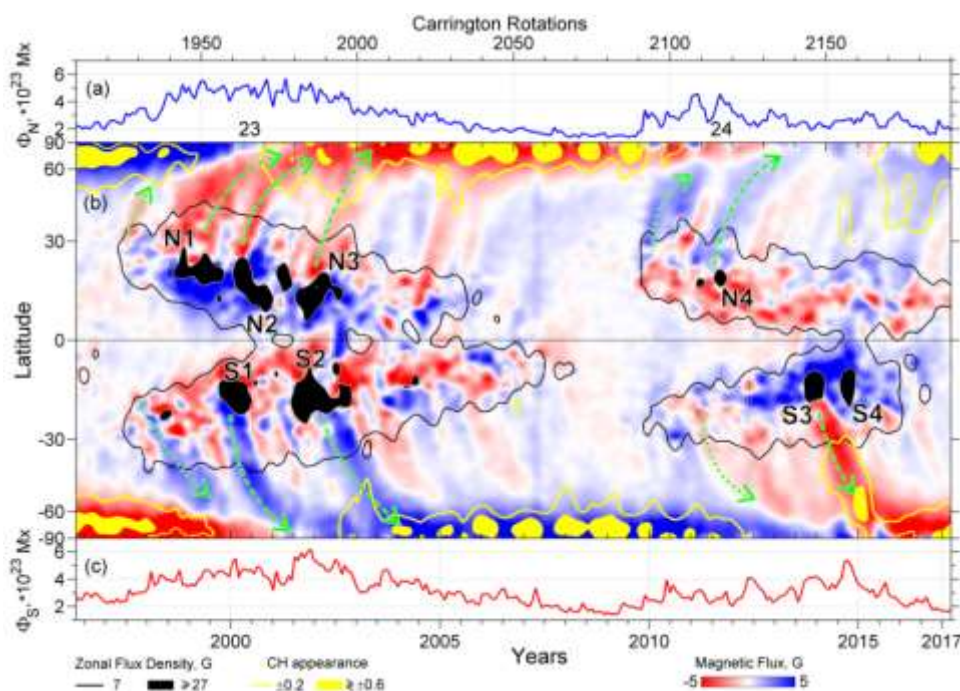


Рис. 2. Изменения магнитного потока в северном и южном полушариях (a, c); широтно-временное распределение усредненных магнитных полей (в сине-красной шкале) (b). Черной заливкой показаны области наибольшей плотности магнитного потока (>27 Гс). Слабые магнитные поля образуют серджи, отмеченные стрелками. Желтыми контурами показаны области частого появления КД, долгоживущие полярные КД отмечены желтыми пятнами

2.1.5. Развитие моделей солнечного и звездного динамо

Наблюдения показывают, что замедление вращения подобных Солнцу звезд прекращается по достижении определенного максимального периода вращения, зависящего от эффективной температуры (массы) звезды. Это обстоятельство можно объяснить наличием минимальной скорости вращения для действия звездного динамо. В рамках такого объяснения определена величина динамо-числа для Солнца, что улучшило соответствие модели динамо наблюдениям. С помощью согласованной модели динамо и дифференциального вращения предсказана зависимость структуры крупномасштабных магнитных полей от эффективной температуры для звезд, скорость вращения которых близка пороговой величине для действия динамо.

Впервые показано, что в нелинейном режиме генерация неосесимметричных магнитных полей может ослаблять осесимметричное динамо. Магнитная активность осесимметричного магнитного поля меняется циклически, как и на Солнце, с периодом около пятидесяти лет. Широтно-временные диаграммы вариаций тороидального и полодального магнитных полей похожи на солнечные. Однако энергия осесимметричных магнитных полей намного меньше энергии неосесимметричных полей.

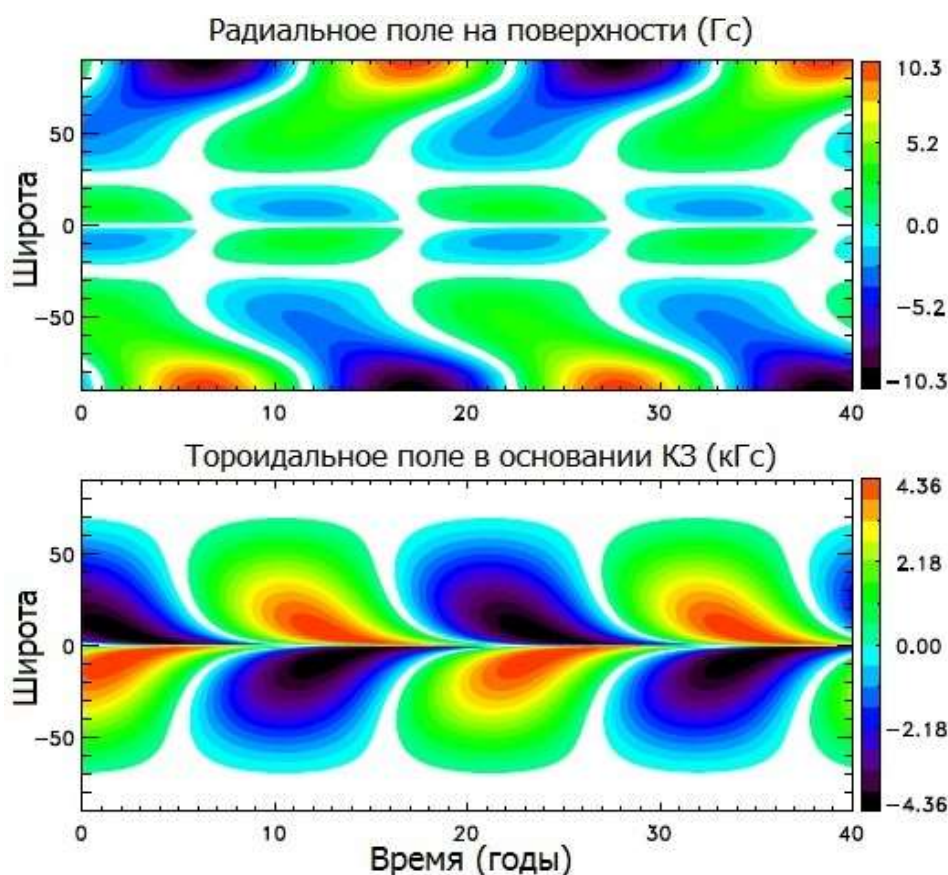


Рис. 3. Широтно-временные диаграммы радиального поля на поверхности Солнца (вверху) и тороидального поля в основании конвективной зоны по расчетам в рамках согласованной модели динамо и дифференциального вращения в модели солнечного динамо, скорректированной по данным о вращении звезд

2.2. Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере

2.2.1. Развитие методов трехмерного моделирования вспышечных петель

Для эффективного использования микроволновых данных при моделировании процессов ускорения электронов и переноса энергии в солнечных вспышках необходимо иметь информацию о трехмерной структуре магнитного поля во вспышечной области. Количественное определение коронального магнитного поля остается центральной проблемой в солнечной физике. Анализ существующих методов реконструкции потенциального поля посвящены работы [1, 2].

Выполнено статистическое исследование поперечных профилей плотности в корональных петлях, наблюдаемых на ультрафиолетовых (EUV) изображениях SDO. Анализ 223 петель показал, что в достаточно хорошо разрешаемых петлях без видимой субструктуры наблюдаемое излучение лучше моделируется при линейной зависимости поперечного профиля изменения концентрации плазмы [3]. Подходы к реконструкции магнитного поля скрученных жгутов изучались в работе [4].

На рис. 4 показаны модельные расчеты квазисепаратристных поверхностей и магнитных силовых линий для двух случаев с магнитными жгутами.

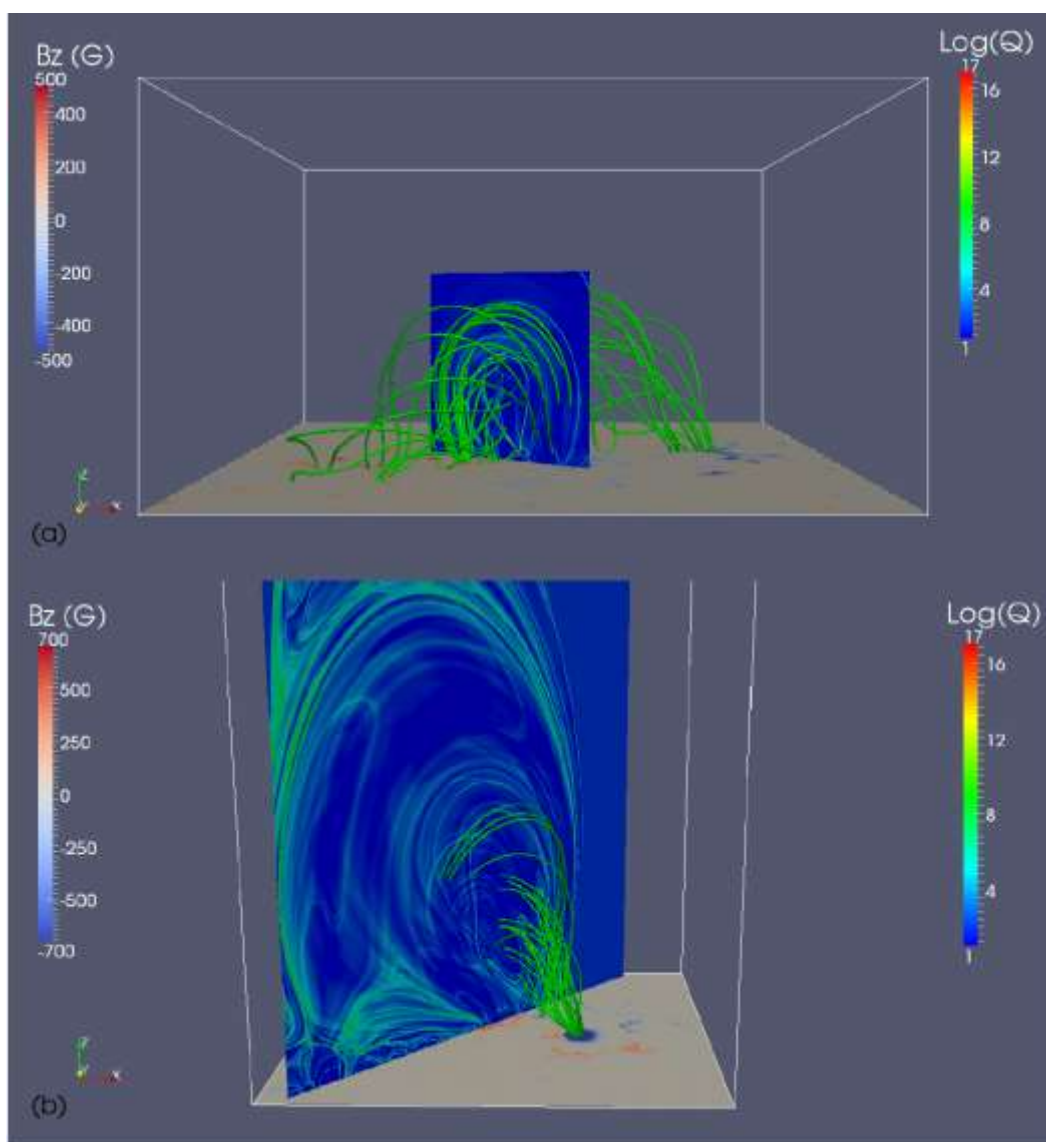


Рис. 4. Квазисепаратрисные линии и магнитные силовые линии (зеленые) магнитного жгута в модели, построенной для событий 12 февраля 2007 и 7 августа 2010 г. Внизу показаны распределения вертикального магнитного поля

2.2.2. Исследование процессов коронального энергосвечения

Знак и степень круговой поляризации микроволнового излучения солнечных вспышек являются важным источником информации об их магнитной структуре. В работе [5] детально исследован механизм излучения вспышечного микроволнового источника с аномальным знаком круговой поляризации во время вспышки SOL2012_07_06. В оптически тонкой части спектра источника до 35 ГГц преобладало излучение обыкновенной волны. Анализ исключил известные причины генерации обыкновенной волны на таких частотах: пич-угловую анизотропию нетепловых электронов или рождение во вспышке значительного количества высокоэнергичных позитронов. Показано, что поляризация принимаемых волн появляется из-за обращения их круговой поляризации на пути к наблюдателю при прохождении так называемого квазипоперечного слоя (QT-слоя). Результат важен для верификации моделей каналов вспышечного энергосвечения.

Наблюдения радиоизлучения Солнца являются важным источником информации о процессах во внешней солнечной атмосфере. Однако неоднородная турбулентная корона существенно влияет на распространение излучаемых радиоволн, поэтому разделение свойств излучающего источника и эффектов распространения радиоволн является серьез-

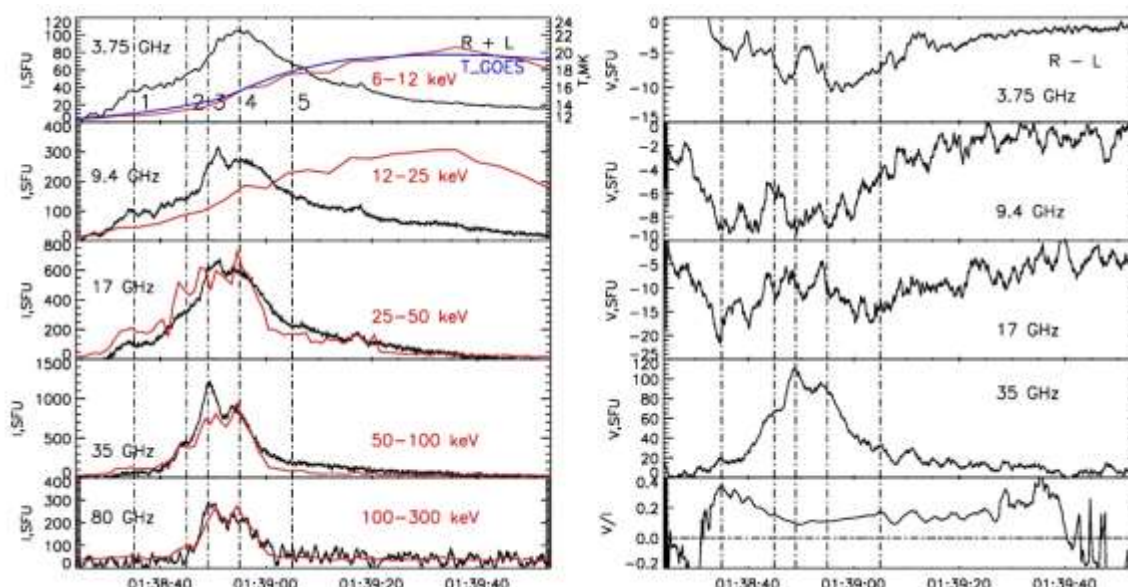


Рис. 5. Временные профили (черные кривые) вспышечного микроволнового всплеска в интенсивности (слева) и круговой поляризации (справа); интенсивность жесткого рентгеновского излучения (красные линии). Синяя кривая сверху слева — температура плазмы в источнике. Справа внизу показано изменение степени поляризации во время всплеска

ной проблемой. В работе [6] исследованы пространственные и спектральные характеристики тонких структур солнечного радиовсплеска, наблюдаемого низкочастотной решеткой (LOFAR) — инструментом с высоким временным разрешением, который позволяет также получать изображения с достаточно высоким пространственным разрешением. Важный результат был получен при исследовании солнечной вспышки 15 мая 2013 г. [7]; для определения параметров источника микроволнового излучения были использованы методы и программы, разработанные в ИСЗФ СО РАН.

Совместно с сотрудниками НИИЯФ МГУ была исследована солнечная вспышка 29 октября 2003 г. (X10/3B), отличающаяся большой интенсивностью жесткого рентгеновского и гамма-излучения [8]. Обнаружена очевидная временная корреляция между процессами ускорения частиц и реструктурированием факельного магнитного поля. В частности, процесс ускорения протонов начался после радикального изменения характера движения оснований петель — от схождения оснований к их разбеганию.

Интересные результаты были получены международной коллаборацией [9]. При исследовании трех залимбовых вспышек было обнаружено жесткое рентгеновское излучение с вершины высокой корональной петли в оптически тонком режиме средне-релятивистских электронов. Предполагается, что протоны ускоряются до энергий >10 ГэВ в области коронального выброса массы (КВМ), высыпаются в фотосферу с нижней стороны структуры КВМ, а затем на фронтальной стороне Солнца вдали от источника вспышечного энерговыделения.

Природа зебра-структуры в микроволновом излучении IV типа обсуждалась в работе [10]. Обращается внимание на механизм генерации тонкой структуры, связанной с взаимодействием плазменных волн со свистами. В 2017 г. подготовлена первая публикация по данным регулярных наблюдений активных процессов в атмосфере Солнца с помощью первой очереди многоволнового Сибирского радиогелиографа [11].

2.2.3. Исследование природы колебаний

Инкремент затухания кинк-моды колебаний в корональных петлях существенно зависит от поперечного профиля плотности в петле. Выполнен анализ наблюдений для определения поперечной структуры петель [12, 13]. Показано, что использование Байесовского

подхода к анализу стоячих колебаний кинк-моды позволяет верифицировать модели с различными поперечными профилями концентрации плазмы. В работе [14] представлен сейсмологический метод зондирования солнечной атмосферы над солнечным пятном с трехминутными колебаниями. Метод позволяет оценить как вертикальное расстояние между атмосферными слоями, так и скорость распространения волн без указания каких-либо дополнительных параметров, в частности, фазовой скорости волны или высоты образования эмиссии. В работе получены оценки вертикального расстояния между эмиссионными слоями температурного минимума ($1600 \text{ \AA}$) и переходной области ($304 \text{ \AA}$), а также средней фазовой скорости над солнечным пятном в трех активных областях. Полученные оценки для разницы высот $500\text{--}800 \text{ км}$ и средней фазовой скорости между этими слоями (около 30 км/с при скорости звука 6 км/с) согласуются с полуэмпирической моделью атмосферы солнечного пятна [15]. Пример с рассчитанными параметрами показан на рис. 6.

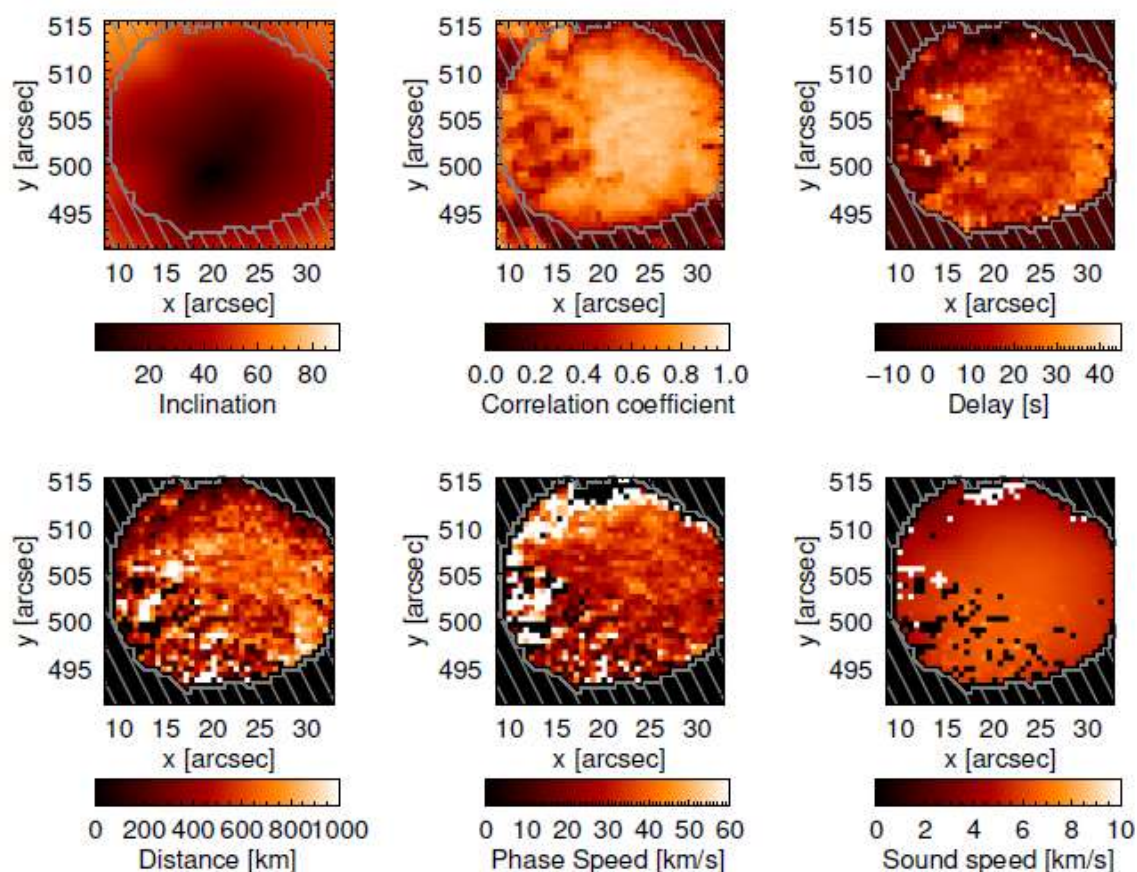


Рис. 6. Отклонение магнитного поля от вертикали, коэффициент кросскорреляции, задержка (верхняя панель), расстояние между слоями, фазовая и групповая скорости, вычисленные для каждого пикселя активной области NOAA 11131

В работе [16] исследовалась связь между кратковременным увеличением амплитуды трехминутных вариаций эмиссии EUV в основаниях корональных магнитных петель и появлением вспышек в тени солнечного пятна. Впервые получены двумерные изображения тонкоструктурных процессов в магнитных конфигурациях разных масштабов. Источники UV-излучения были в основном локализованы в основаниях магнитной петли, закрепленных в тени. Обнаружено два типа вспышек — точечные, связанные с основаниями открытых силовых линий магнитного поля, и протяженные, связанные с закрытыми линиями. Показано, что максимумы пакетов колебаний совпадают с пиковой интенсивностью вспышек. Можно сделать вывод, что вспышки в тени пятна представляют собой процесс кратковременного увеличения волновой активности в основаниях магнитных петель. По тематике раздела опубликованы также работы [19, 20].

2.2.4. Вариации профилей хромосферных спектральных линий

2.2.4.1. Исследование периодических вариаций профилей спектральных линий $\text{H}\alpha$ 6563 Å, CaII 8542 Å, HeI 10830 Å в области солнечных факелов

В настоящее время одной из актуальнейших проблем физики Солнца является проблема нагрева верхних слоев атмосферы Солнца (до нескольких миллионов градусов) при относительно низкой температуре нижних слоев (несколько тысяч градусов). Одно из возможных объяснений наблюдаемого явления — транспортировка энергии от нижних слоев с помощью МГД-волн. С момента появления этой версии самым подходящим кандидатом на роль транспортировщика энергии стали считать альфвеновские волны. Обнаружение этих волн во внешней короне и солнечном ветре выдвинуло задачу поиска их источника в нижних слоях солнечной атмосферы. Большинство исследователей пытаются найти наблюдательные проявления зарождающихся альфвеновских волн в хромосфере. Причем предпочтение отдается поиску так называемых торсионных или крутильных колебаний, обнаруживаемых по периодическим колебаниям ширины спектральных линий. Заметим, что до настоящего времени в научной печати не стихает дискуссия относительно правильности интерпретации наблюдаемых колебаний в корональной дыре (КД). Возникает вопрос, не наблюдаются ли подобные вариации профилей спектральных линий в факельных областях, где топология магнитного поля отличается от КД. На изображениях SDO в линии 171 Å большинство факелов представлены невысокими замкнутыми корональными петлями. Факельные области — распространенные образования на Солнце, они занимают значительные площади в солнечной атмосфере даже в минимуме цикла активности. В настоящем проекте исследуются временные вариации контуров хромосферных линий $\text{H}\alpha$ 6563 Å и HeI 10830 Å.

Таблица 1. Результаты наблюдений и обработки данных

Временная серия*	Спектральная линия	Средняя амплитуда колебаний полуширины профиля линии (peak-to-peak), мÅ		
		3.7 – 6.7 мин (2.5 – 4.5 мГц)	9 – 17 мин (1 – 1.9 мГц)	17 – 42 мин (0.4 – 1 мГц)
2003-07-01, N04 E33, b=01:07 UT, T=42 мин	$\text{H}\alpha$ 6563 Å	9 – 21	23	—
2004-09-12, S16 W59, b=03:04 UT, T=52 мин	$\text{H}\alpha$ 6563 Å	20 – 25	35	—
2005-07-27, S02 E54, b=06:36 UT, T=67 мин	$\text{H}\alpha$ 6563 Å	20 – 50	40	40 – 45
2005-08-17, S10 E30, b=03:44 UT, T=93 мин	Ba II 4554 Å	1 – 2.5	—	—
2005-09-24, S03 E70, b=01:59 UT, T=84 мин	$\text{H}\alpha$ 6563 Å	20 – 30	—	—
2012-09-14, S13 W04, b=03:29 UT, T=93 мин	Si I 10827 Å	9 – 13	—	—
	Ba II 4554 Å	2 – 3	—	2 – 4
2012-09-21, N19 E13, b=01:38 UT, T=100 мин	He I 10830 Å	40	—	—
	$\text{H}\alpha$ 6563 Å	35 – 45	—	—
	Si I 10827 Å	10	—	—
2013-05-01, S09 W13, b=01:28 UT, T=47 мин	$\text{H}\alpha$ 6563 Å	30 – 35	40 – 60	—
2013-08-25, N15 E00, b=01:49 UT, T=75 мин	He I 10830 Å	40 – 50	45	30
	$\text{H}\alpha$ 6563 Å	30 – 35	70	40
	Si I 10827 Å	6 – 8	—	8
2013-08-28, N15 W35, b=08:01 UT, T=158 мин	He I 10830 Å	45	55	—
	$\text{H}\alpha$ 6563 Å	25	50	—
	Si I 10827 Å	12	—	—

Кроме торсионных колебаний, другой возможной причиной периодических вариаций ширины спектральных линий могут выступать МГД-волны (так называемая сосисочная мода).

Для того чтобы объяснить непериодические вариации ширины Na или HeI влиянием сосисочной моды, необходимы убедительные наблюдательные факты, подтверждающие одновременное существование в исследуемом объекте сосисочной моды с удвоенным периодом относительно вариаций ширины спектральных линий. При этом они должны наблюдаться в тех же участках факела, что и вариации ширины. Проведенный анализ плутоновых диаграмм спектральная мощность — пространство для вариаций ширины профиля и интенсивности по всем временным сериям не выявил предсказываемого теорией соответствия. Вопреки ожиданиям, спектры мощности этих величин выглядят похожими во многих участках факелов. Более того, в некоторых случаях (рис. 7) вариации ширины регистрируются на частотах, более низких чем вариации интенсивности и лучевой скорости. Таким образом, выполненный нами анализ не содержит прямых доказательств того, что наблюдаемые периодические вариации контуров спектральных линий вызваны действием сосисочной моды.

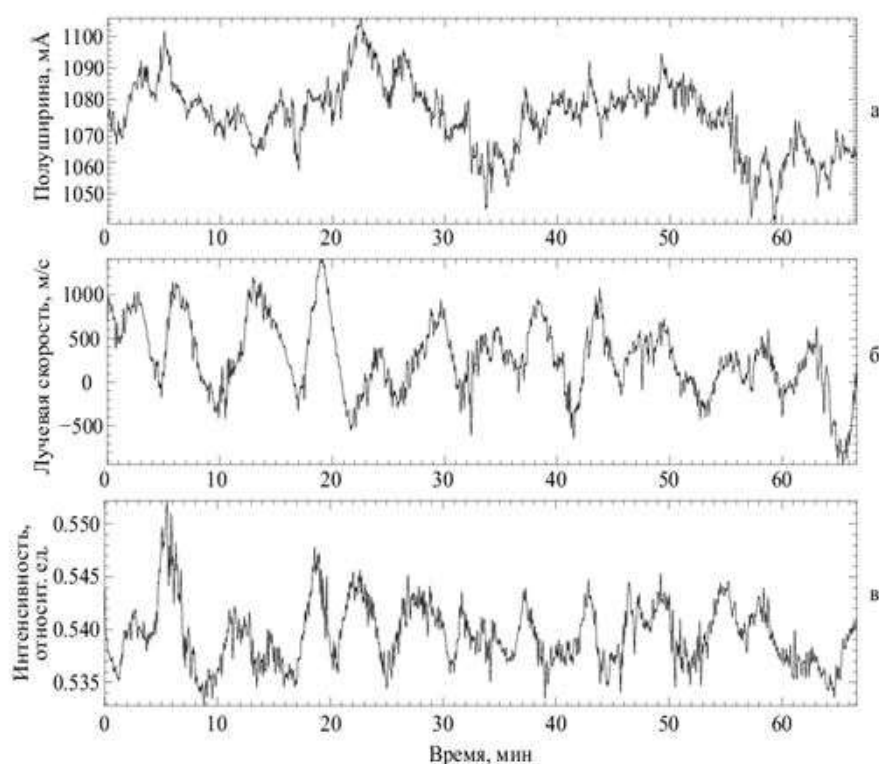


Рис. 7. Оригинальные сигналы вариаций полуширины, лучевой скорости и интенсивности для линии Na в одном из участков факела 2005-07-27 из табл. 1. Колебания полуширины показывают более низкую частоту относительно колебаний интенсивности и лучевой скорости, чего не должно быть в случае сосисочных колебаний

Выводы

Профили хромосферных линий HeI и Na показывают вариации $\sim 40\text{--}60\text{ мÅ}$. В основном эти вариации регистрируются в двух спектральных диапазонах: $2.5\text{--}4.5$ и $1\text{--}1.9\text{ мГц}$. Теоретически существует возможность объяснить их действием сосисочных колебаний. Однако проведенный нами анализ не позволяет принять эту версию для наших наблюдений. С другой стороны, однозначно отнести их к крутильным (торсионным) колебаниям мы не можем вследствие того, что в наших наблюдениях не обнаруживается четкая зависимость амплитуды от положения на диске (эффект центр–лимб), как это предписывает теория.

Очевидно, что в будущем такие исследования необходимо дополнить спектрополяриметрическими наблюдениями. Следует также продолжить попытки прямых измерений

вариаций поперечного сечения трубки для надежного исключения или подтверждения версии о причастности сосисочной моды к вариациям ширины спектральных линий. Последнее требует фильтровых наблюдений с высоким пространственным разрешением.

2.2.4.2. Вариации формы контуров линии К CaII и распространение волновых движений в различных структурных образованиях спокойной хромосферы и флоккулах

Выполняемая работа является продолжением предыдущих исследований контуров линии К CaII по наблюдениям двух временных серий, снятых в спокойных областях с координатами S25W12 и S25W17 в основании корональной дыры (КД). В обеих сериях на щель спектрографа попали участки атмосферы протяженностью ≈ 200 угл. сек. Они включают как области спокойной хромосферы с яркими и темными структурами, так и флоккулы.

Цель работы — получить информацию о физических условиях в среде, в которой формируется линия К CaII в перечисленных хромосферных структурах. Эта задача важна в связи с актуальной проблемой поиска источников нагрева верхней солнечной атмосферы.

Для исследования выделены хромосферные структуры, к которым мы применили следующие обозначения: n — яркие сеточные структуры; с — темные внутрисеточные структуры; р — область пониженной яркости, присутствующая на снимках одной из двух серий; х — области промежуточной яркости, которые не относятся к n-, с-, р-структурам; b — флоккул.

Известно, что формы контуров линий кальция имеют большие пространственно-временные отличия. Мы определили ряд количественных параметров контуров линии К CaII, которые могут характеризовать их поведение по пространству и времени: I_{K3} — минимальная интенсивность в центре линии; I_{K2v} , I_{K2r} — интенсивности фиолетового и красного пиков соответственно и их отношение I_{K2v}/I_{K2r} ; $\Delta\lambda_{K3}$ — сдвиг I_{K3} по оси длин волн относительно нуля.

Проведенное исследование показало, что пространственное различие контуров связано не только с их принадлежностью к разным хромосферным структурам. Существуют различия и между контурами структур одного и того же типа. Это наглядно видно на рис. 8 а, б, где представлены контуры, относящиеся к разным структурам области S25W12 в один и тот же момент времени. На обоих рисунках особенно заметно отличие контуров в ядре линии. Они различаются не только величиной центральной интенсивности, но и наличием или отсутствием пиков K_2 . При этом в крыле линии интенсивности могут быть похожими (участки ячейки с, области пониженной яркости р, флоккула b), но могут и различаться (участки сетки n2 и ячейки с). Контуры одинаковых структур (участки n1, n2) отличаются как в ядре, так и в крыле линии.

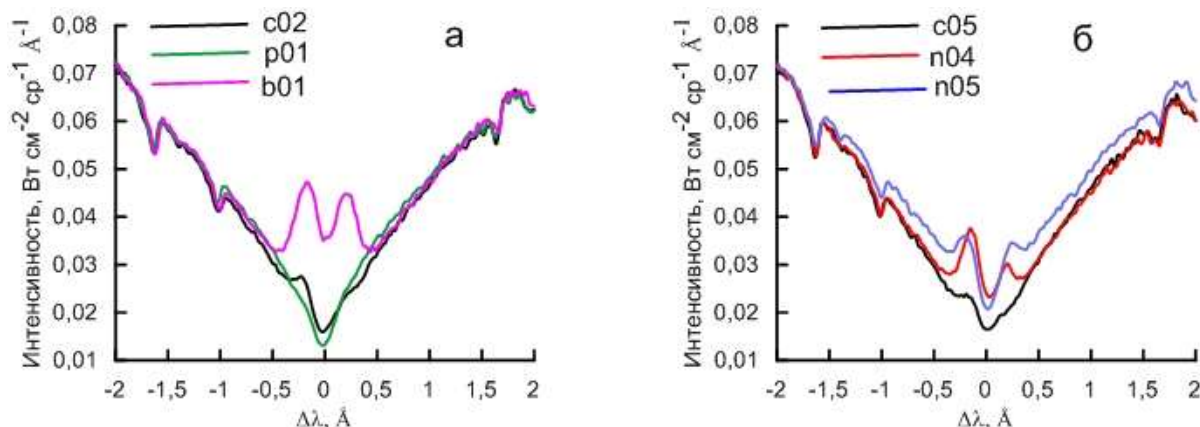


Рис. 8. Контуры линии К CaII в разных хромосферных структурах области S25W12 для одного из моментов времени

Одно из динамических явлений, связанных с изменениями контуров линий CaII во времени — это так называемые яркие зерна, обнаруженные первоначально во внутренних частях хромосферной сетки. Типичная картина вариаций контура линий CaII, связанных с яркими зернами, описана в многочисленной литературе следующим образом. Возникает поярчение в крыльях линии, распространяющееся к центру линии. В это же время ядро линии постепенно смещается в красную сторону. Появляется сильное поярчение на фиолетовой стороне центра линии (K_{2v} -пик) при отсутствии пика с красной стороны ($I_{K_{2v}}/I_{K_{2r}} > 1$). Эти поярчения и называются K_{2v} -зернами. Ядро линии в момент K_{2v} -пика максимально смещено в красную сторону. Затем происходит резкое затухание зерна, а ядро линии смещается в фиолетовую сторону. Значительно реже наблюдаются поярчения в красном крыле линии ($I_{K_{2v}}/I_{K_{2r}} < 1$). В этом случае ядро линии смещено в фиолетовую сторону. Процесс генерации K_{2v} -зерен акустическими ударами был промоделирован в работах Carlsson, Stein, было найдено хорошее соответствие модели и описанной выше картины. Но дальнейшие наблюдения показали, что, во-первых, зерна могут встречаться не только во внутренних частях хромосферной сетки (ячейках), но и во внешних ярких частях (сетках). Во-вторых, ход изменений в контуре линии может отличаться от стандартного.

Для исследования временного поведения формы контуров линии K CaII в средней точке участка каждой из выбранных хромосферных структур (40 структур в области S25W12 и 30 структур в области S25W17) были построены контуры линии для всех кадров временной серии (45 кадров в каждой серии). Были отобраны те контуры, которые имели наибольшие ($I_{K_{2v}}/I_{K_{2r}} > 1$) и наименьшие ($I_{K_{2v}}/I_{K_{2r}} < 1$) отношения интенсивностей $I_{K_{2v}}/I_{K_{2r}}$. Для выбранных контуров были измерены смещения минимума K_3 ($\Delta\lambda_{K_3}$). Оказалось, что большинство смещений K_3 соответствуют картине стандартной эволюции K_{2v} -зерен, но также имеются значительные отклонения от этой картины. Примеры контуров с измеренными смещениями минимума K_3 приведены на рис. 9 (а–ж).

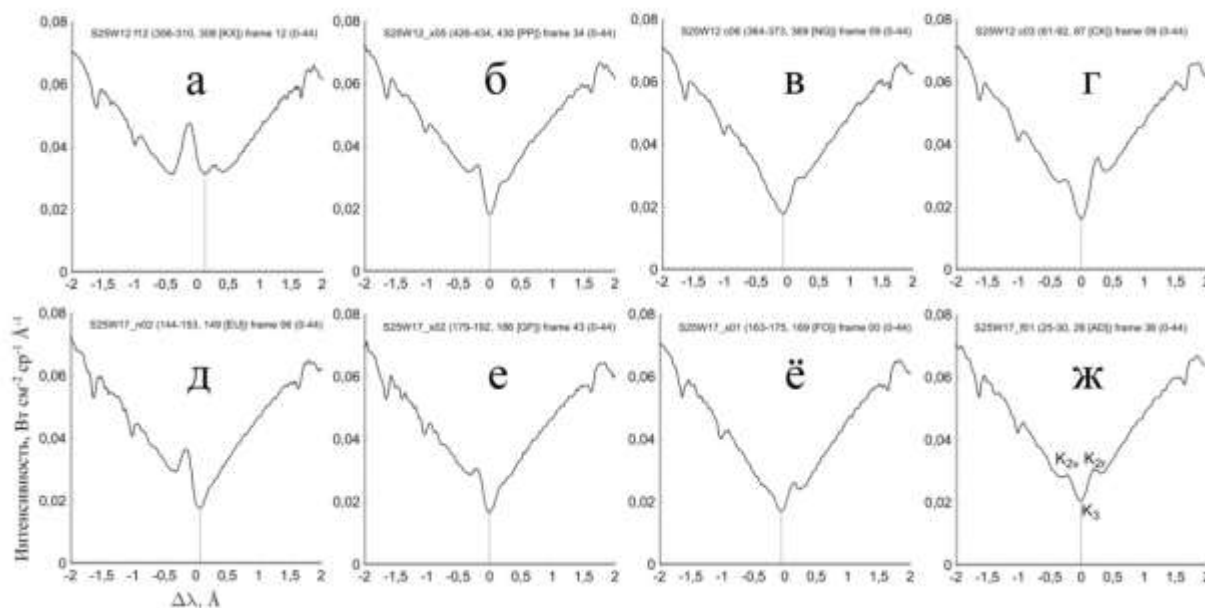


Рис. 9. Вариации смещений K_3 в контурах линии K CaII области S25W12 (верхняя панель) и S25W17 при $I_{K_{2v}}/I_{K_{2r}} > 1$ (а, б, д, е) и $I_{K_{2v}}/I_{K_{2r}} < 1$ (в, з, е, ж). Показано положение пиков K_{2v} , K_{2r} и минимума K_3

Результаты исследования показывают, что форма контуров линии K CaII в разных хромосферных структурах зависит от физических условий, которые характерны для данной структуры. Их форма определяется не только термодинамическими условиями в области, где они формируются, но и динамическим режимом, который присутствует в данном месте в данный момент времени. Временное поведение контуров линии K CaII в цикле K_{2v} -зерна свидетельствует о том, что процесс K_{2v} -зерен может иметь более сложный характер, чем предполагалось ранее.

2.2.4.3. Необычная структура тени пятна по наблюдениям в двух спектральных диапазонах — области ультрафиолетового дублета (линии Н и К) и двух линий инфракрасного триплета (849.8 и 854.2 нм) CaII

Продолжено исследование необычного явления, наблюдавшегося 12.07.2014 г. на горизонтальном солнечном телескопе ССО. Были получены спектрограммы пятна NOAA 12109 в двух спектральных диапазонах — области ультрафиолетового дублета (линии Н и К) и двух линий инфракрасного триплета (849.8 и 854.2 нм) CaII. В тени пятна отмечен участок повышенной яркости, напоминающий световой мост, но круглой формы, без выхода в полутень. Проведена обработка спектрограмм, полученных при сканировании этого пятна. Разработан алгоритм выделения ядра линии в сложных контурах с самообращениями (линии Н, К, 849.8 и 854.2 нм) для тени и полутени. Получены изображения и карты доплеровских скоростей в 8 инфракрасных линиях и 16 ультрафиолетовых линиях. На рис. 10 приводятся примеры построенных изображений и карт доплеровских скоростей для линии 850.2 нм (рис. 10, а, б) и линии 394.0 нм (рис. 10, в, г). Можно отметить, что, в то время как в полутени пятна в линии 850.2 нм видна классическая картина эффекта Эвершеда, в тени пятна регистрируются довольно значительные (около 4 км/с) положительные скорости с уменьшением до 2 км/с в области светлого образования (рис. 10, б). В ультрафиолетовой линии 394 нм (рис. 10 г) картина в пятне выглядит более сложной. В некоторых участках пятна наблюдается обратный эффект Эвершеда, при этом абсолютные значения скоростей почти в два раза меньше, чем в инфракрасной линии 850.2 нм. Особенности морфологии данного пятна требуют дальнейшего изучения.

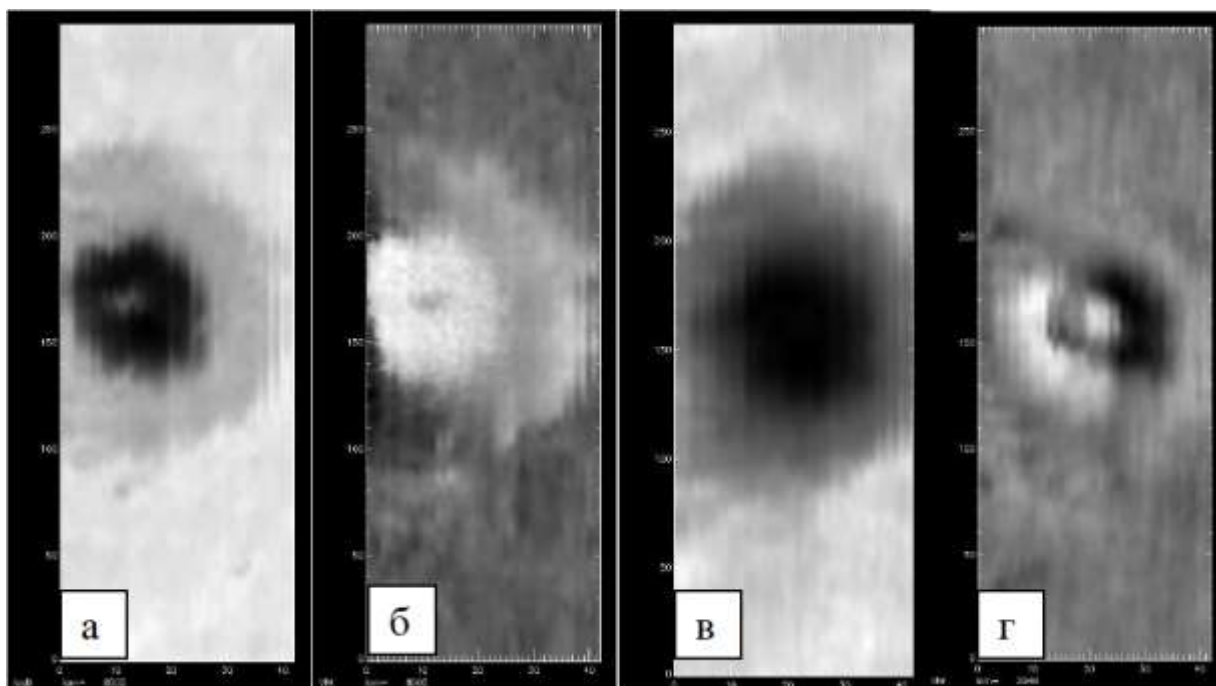


Рис. 10. Изображение пятна активной области NOAA 12109, построенное по линии 850.2 нм (а); карта скоростей для линии 850.2 нм (б); то же самое для линии 394.0 нм (в, г). Темные и светлые области соответствуют отрицательным (к наблюдателю) и положительным (от наблюдателя) доплеровским скоростям.

2.2.5. Мониторинг Солнца в оптическом диапазоне, расширение баз данных

Таблица 2. Перечень наблюдений с указанием объектов и спектральных линий

Наблюдения на АСТ за 2017 г.							
		Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Итого
пятно	Ca 8542 Å + BaII 4554Å				4		4
	Ca 8542 Å		1с				1с
	H α		1+3с				1+3с
	FeI 5250Å		1				1
	FeI 6301Å, FeI 6302Å		1+8с	2+5с	4+4с		7+17с
факел	HeI 10830Å + SiII 10827Å + H α	3	6				9
	Ca 8542 Å + BaII 4554Å			7	2		9
	Ca 8542 Å				1с		1с
волокно	FeI 4859Å, H β 4861Å					1	1
корон. дыра	Ca 8542 Å + BaII 4554Å				2		2

Символ «с» — быстрый скан (двумерная временная серия)

За сезон выполнено 56 временных серий (из них 21с), средняя длительность 72 мин, разброс по длительности 25–204 мин, большая часть быстрых сканов были калибровочными для нового спектрополяриметра.

В целом наблюдательный сезон 2017 г. характеризовался снижением солнечной активности и ухудшением локальных астроклиматических условий. Можно отметить, что значительное рабочее время (не учитываемое в табл. 2) было потрачено на отладку и испытания нового спектрополяриметра.

2.2.6. Список использованных источников

1. Fleishman G.D., Anfinogentov S., Loukitcheva M., Mysh'yakov I., Stupishin A. Casting the coronal magnetic field reconstruction tools in 3D using the MHD bifrost mode // *Astrophys. J.* 2017. V. 839, article id. 30, 27 p. DOI: 10.3847/1538-4357/aa6840.
2. Rudenko G.V., Anfinogentov S.A. Algorithms of the potential field calculation in a three-dimensional box // *Solar Phys.* 2017. V. 292, article id. #103, 17 p. DOI: 10.1007/s11207-017-1126-z.
3. Goddard C.R., Pascoe D.J., Anfinogentov S., Nakariakov V.M. A statistical study of the inferred transverse density profile of coronal loop threads observed with SDO/AIA // *Astron. Astrophys.* 2017. V. 605, id.A65, 8 p. DOI: 10.1051/0004-6361/201731023.
4. Guo Y., Pariat E., Valori G., Anfinogentov S., Chen F., Georgoulis M.K., Liu Y., Moraitis K., Thalmann J.K., Yang S. Magnetic helicity estimations in models and observations of the solar magnetic field. III. Twist number method// *Astrophys. J.* 2017. V. 840, article id. 40, 16 p. DOI: 10.3847/1538-4357/aa6aa8.
5. Altyntsev A., Meshalkina N., Mysh'yakov I., Pal'shin V., Fleishman G. Flare SOL2012_07_06: On the origin of the circular polarization reversal between 17 GHz and 34 GHz // *Solar Phys.* 2017. V. 292, article id. #137. DOI: 10.1007/s11207-017-1152-x.
6. Kontar E.P., Yu S., Kuznetsov A.A., Emslie A.G., Alcock B., Jeffrey N.L.S., Melnik V.N., Bian N.H., Subramanian P. Imaging spectroscopy of solar radio burst fine structures // *Nature Communications.* 2017. V. 8, id. 1515.
7. Kontar E.P., Perez J.E., Harra L.K., Kuznetsov A.A., Emslie A.G., Jeffrey N.L.S., Bian N.H., Dennis B.R. Turbulent kinetic energy in the energy balance of a solar flare // *Phys. Rev. Lett.* 2017. V. 118, id.155101. DOI: 10.1103/PhysRevLett.118.155101.

8. Kurt V.G., Yushkov B.Yu., Galkin V.I., Kudela K., Kashapova L.K. CORONAS-F observation of gamma-ray emission from the solar flare on 2003 October 29 // *New Astronomy*. 2017. V. 56. P. 102. DOI: 10.1016/j.newast.2017.05.002.
9. Ackermann M., Allafort A., Baldini L., Barbiellini G., Bastieri D., Bellazzini R., Bissaldi E., Bonino R., Bottacini E., Bregeon J., ... Kashapova L.K. Fermi-LAT observations of high-energy behind-the-limb solar flares // *Astrophys. J.* 2017. V. 835, article id. 219. DOI: 10.3847/1538-4357/835/2/219.
10. Chernov G.P., Fomichev V.V., Sych R.A. Comparison of alternative zebra-structure models in solar radio emission // eprint arXiv:1704.02528, Bibliographic Code: 2017arXiv170402528C.
11. Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Кочанов А.А., Гречнев В.В., Губин А.В., Жданов Д.А., Иванов Е.Ф., Уралов А.М., Кашапова Л.К., Кузнецов А.А., Мешалкина Н.С., Сыч Р.А. Сибирский радиогелиограф: первые результаты // *Солнечно-земная физика*. 2017. Т. 3. №. 1. С. 3–16. DOI: 10.12737/24347. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/15206/view> (дата обращения: 09.11.2017).
12. Pascoe D.J., Anfinogentov S., Nisticò G., Goddard C.R., Nakariakov V.M. Coronal loop seismology using damping of standing kink oscillations by mode coupling. II. Additional physical effects and Bayesian analysis // *Astron. Astrophys.* 2017. V. 600, id.A78, 22 p. DOI: 10.1051/0004-6361/201629702.
13. Pascoe D. J., Goddard C. R., Anfinogentov S., Nakariakov V. M. Coronal loop density profile estimated by forward modelling of EUV intensity // *Astron. Astrophys.* 2017. V. 600, id.L7. DOI: 10.1051/0004-6361/201730458.
14. Deres A.S., Anfinogentov S. Probing the sunspot atmosphere with three-minute oscillations // *Solar Phys.* 2017. Bibliographic Code: 2017arXiv171011552D (in print).
15. Fontenla J.M., Curdt W., Haberreiter M., Harder J., Tian H. Semiempirical models of the solar atmosphere. III. Set of non-LTE models for far-ultraviolet/extreme-ultraviolet irradiance computation // *Astrophys. J.* 2009. V. 707. P. 482–502. DOI: 10.1088/0004-637X/707/1/482.
16. Sych R., Wang Min. Wave dynamics in umbral flashes // E-print: <http://arxiv.org/abs/1710.08100>. *Astron. Astrophys.* (submitted). Bibliographic Code: 2017arXiv171008100S.
17. Kobanov N.I., Chupin S.A., Chelpanov A.A. On searching for observational manifestations of Alfvén waves in solar faculae // *Astron. Lett.* 2017. V. 43, N. 12. P. 844–853. DOI: 10.1134/S1063773717110044.
18. Chelpanov A., Kobanov N., Chupin S. Search for the observational manifestations of torsional Alfvén waves in solar faculae // *Central European Astrophys. Bul.* 2016. V. 40. P. 29–34. ISSN 1845–8319. Bibliographic Code: 2016CEAB...40...29 C.
19. Nakariakov V.M., Pascoe D.J., Sych R., van Driel-Gesztelyi L. Preface to topical issue: waves in the solar corona: from microphysics to macrophysics // *Solar Phys.* 2016. V. 291. P. 3139–3142. DOI: 10.1007/s11207-016-1020-0.
20. Valori G., Pariat E., Anfinogentov S., Chen F., Georgoulis M.K., Guo Y., Liu Y., Moraitis K., Thalmann J.K., Yang S., Magnetic helicity estimations in models and observations of the solar magnetic field. Part I: Finite volume methods // *Space Sci. Rev.* 2016. V. 201. P. 147–200. DOI 10.1007/s11214-016-0299-3.

2.3. Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца

2.3.1. Исследование процессов в солнечных вспышках

2.3.1.1. Выявлена многопетельная структура микроволновых источников в мощной продолжительной вспышке

Анализ наблюдений события 26 декабря 2001 г., связанного с наземным возрастанием интенсивности космических лучей GLE63, по микроволновым спектрам и изображениям, полученным на радиогелиографе Нобейма (NoRH) на частотах 17 и 34 ГГц, Сибирском солнечном радиотелескопе (ССРТ) на 5.7 ГГц, и изображениям, полученным на телескопе TRACE в канале 1600 Å, привел к следующим результатам. Вспышечная лента покрывала часть тени пятна, что типично для событий, вызывающих большие потоки частиц высоких энергий. Нетипичными были 1) большая продолжительность вспышки (более часа); 2) умеренная интенсивность микроволнового всплеска (около 10^4 с.е.п.); 3) низкая частота максимума гиросинхротронного спектра (около 6 ГГц) и его нечувствительность к возрастанию радиопотока более чем на порядок величины. При этом оставалось примерно постоянным отношение потока, излучаемого всем объемом источника в высокочастотной части спектра, к повышенному потоку в низкочастотной области, определяемому площадью источника. При самоподобии спектра наблюдалось подобие между движущимися микроволновыми источниками и наиболее яркими частями вспышечных лент, видимых в канале 1600 Å (рис. 11).

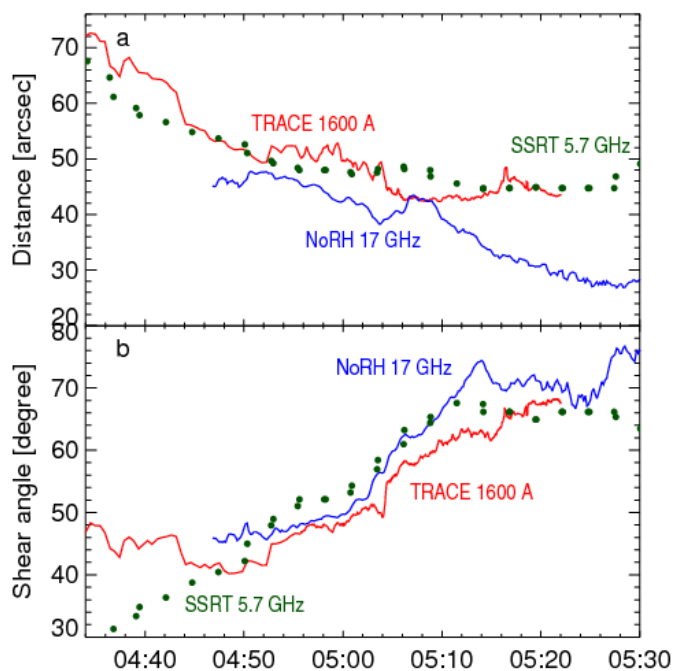


Рис. 11. Изменения расстояния между взвешенными центрами яркости двух источников, наблюдавшихся на 17 ГГц (NoRH, синяя кривая) и 5.7 ГГц (ССРТ, зеленые кружки) в сравнении со вспышечными лентами (TRACE 1600 Å, красная кривая) (a); угол между линией, соединяющей источники, и нейтральной линией магнитного поля (b)

Сравнение изображений, полученных на частоте 17 ГГц и в канале 1600 Å (рис. 12), подтвердило, что микроволновые источники были связаны со множеством вспышечных петель, основания которых проявлялись в ультрафиолете как перемежающиеся яркие ядра. Для понимания наблюдаемых свойств события выполнено моделирование микроволнового излучения системы однородных гиросинхротронных источников над вспышечными лентами. Разброс между спектрами и размерами индивидуальных источников определяется неоднородностью магнитного поля в областях вспышечных лент. В основном микроволновый поток определяется магнитным потоком, пронизывающим ленты и все источ-

ники. Видимая простота микроволновых структур — следствие недостаточных пространственного разрешения и динамического диапазона радиотелескопов. Полученные результаты указывают на соответствие микроволновых проявлений ускоренных электронов структурам, наблюдаемым в тепловом излучении, как предсказывают известные модели.

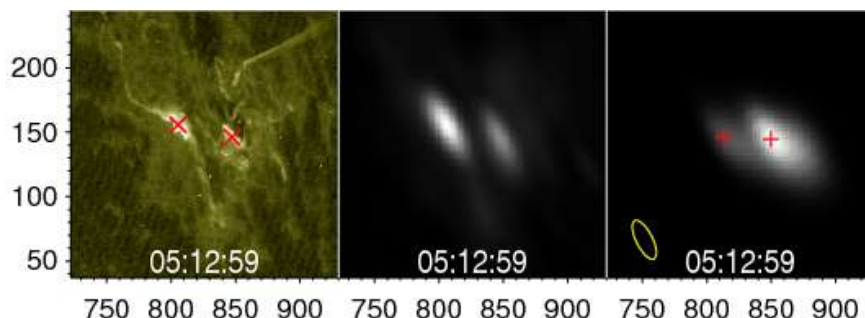


Рис. 12. Пример изображений вспышечной области в ультрафиолете (космический аппарат TRACE 1600 Å, слева), свертки этих изображений с диаграммой направленности Радиогелиографа Нобеяма (NoRH, в центре) и изображений NoRH на 17 ГГц (справа). Крестики — взвешенные центры яркости, поведение которых во времени показано на рис. 11

2.3.1.2. Перенос частиц, ускоренных во вспышке, расширяющимся магнитным жгутом, в который они инжектируются при вспышечном пересоединении

Задержка выхода ускоренных ионов у Солнца относительно вспышки считается подтверждением их ускорения головной ударной волной, возникающей перед корональным выбросом массы (КВМ), превысившим альфвеновскую скорость. Возможно другое объяснение задержки выхода частиц. Часть ускоренных во вспышке электронов и ионов захватывается в расширяющемся магнитном жгуте. Его последующее пересоединение с открытыми корональными структурами открывает доступ в межпланетное пространство всем захваченным частицам. Для проверки этого сценария времена выхода ионов у Солнца по оценке Д. Римса для 13 из 16 событий 23-го солнечного цикла, вызвавших наземные возмущения интенсивности космических лучей (GLE), сравнивались с началом дека/гектометровых (ДГМ) всплесков III типа, вызванных потоками быстрых электронов, уходящих в межпланетное пространство. В это же время возможен и выход тяжелых частиц.

Для 11 событий разница не превысила 5 мин (рис. 11, 12). Для двух событий (рис. 13) оцененные времена выхода оказались нереалистично поздними, вероятно, из-за неучтенных эффектов распространения тяжелых частиц. Вероятно, реальное время выхода ионов во всех 13 рассмотренных событиях близко началу мощных ДГМ-всплесков III типа, вызванных уходящими электронами. Рассмотренный сценарий решает проблему выхода ускоренных протонов из области вспышки, а близость вероятных времен выхода энергичных частиц и ДГМ-всплесков III типа подтверждает ускорение частиц вспышечными процессами.

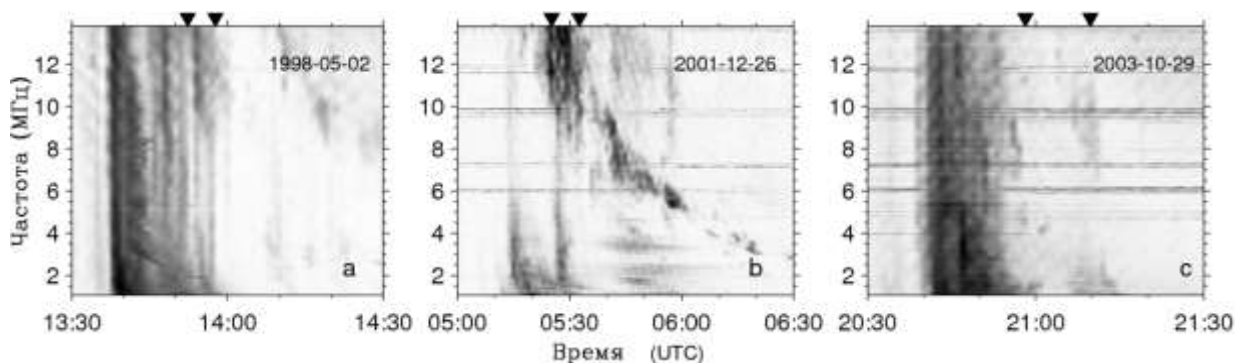


Рис. 13. Динамические спектры WIND/Waves/Rad2 в событиях GLE56 2 мая 1998 г. (a), GLE63 26 декабря 2001 г. (b) и GLE66 29 октября 2003 г. (c). Треугольниками отмечены границы интервалов по оценке Д. Римса для времени выхода ионов

2.3.1.3. Статистические исследования солнечных вспышек малой мощности

Сформирована электронная база данных для 123801 солнечных вспышек за 1972—2010 гг. В основу легли каталоги Solar Geophysical Data (SGD) и квартального бюллетеня (Quarterly Bulletin on Solar Activity). С помощью разработанного пакета программ проведена предварительная статистическая обработка данных. Полученные результаты позволили выявить ряд новых особенностей в распределении вспышек на Солнце, отличных от полученных ранее.

Установлено, что более 90 % всех происходящих на Солнце вспышек относятся к вспышкам малой мощности. Самый многочисленный класс составляют вспышки балла SF (64 %). Активность вспышек малой мощности имеет хорошо выраженную цикличность и высокую корреляцию с числами Вольфа.

Самые высокие коэффициенты корреляции показывают вспышки классов площади S и 1 (табл. 3). Существует также высокая корреляция между отдельными классами вспышек: S и 1, 1 и (2–4).

Таблица 3. Корреляция между классами вспышек в 21–23 циклах солнечной активности

	цикл 21	цикл 22	цикл 23	1972-2010гг
$W \leftrightarrow S$	0.96	0.94	0.89	0.89
$W \leftrightarrow 1$	0.90	0.90	0.83	0.83
$W \leftrightarrow (2-4)$	0.77	0.77	0.67	0.76
$S \leftrightarrow 1$	0.90	0.92	0.90	0.91
$S \leftrightarrow (2-4)$	0.76	0.76	0.75	0.74
$1 \leftrightarrow (2-4)$	0.87	0.86	0.82	0.83

Полученные ранее результаты [1], свидетельствующие о преобладании на Солнце вспышек балла SN (47 %) и существовании значимых пиков для вспышек баллов SN и 1N, не подтвердились. Распределение числа солнечных вспышек с ростом оптического балла имеет плавный спад без существенных отклонений, при этом происходит постепенное перераспределение вспышек в сторону увеличения класса яркости.

2.3.1.4. Распределение вспышек по времени подъема яркости к максимуму

На основе данных международного вспышечного патруля в линии H α за 1972—2010 гг. сформирована электронная база данных солнечных вспышек. Проведены статистические исследования времени подъема яркости вспышек к максимуму (флэш-фазы). Впервые получены средние продолжительности флэш-фаз для отдельных классов вспышек (табл. 4, колонка III) и уточнены параметры распределений, полученные ранее.

Выводы. Показано, что с увеличением класса площади происходит рост продолжительности начальной фазы вспышек.

Таблица 4. Количество и продолжительность флэш-фаз солнечных вспышек

	кол-во			среднее			мода			медиана		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
S	2660	85649	76985	5.7	-	4.9	<2	-	1	-	3	3
1	211	9176	6335	10.1	-	10.6	5	-	4	-	5	6
2	88	1014	1156	15.5	-	15.1	4	-	4	-	-	10
3	-	101	115	-	-	21.2	-	-	6	-	-	17
2-4	-	1120	1281	-	-	15.6	-	-	4	-	8	10
Σ	2959	95945	84601	-	5.1	5.5	-	1	1	-	3	3

В колонках I и II представлены следующие результаты:

I — Смит Г., Смит Э. [2];

II — Temmer M., Veronig A., Hanslmeier A., Otruba W., Messerotti M. [3].

Впервые установлено, что время подъема зависит от типа и особенностей развития солнечных вспышек. Самые короткие флэш-фазы имеют вспышки взрывного типа, самые продолжительные — вспышки, показывающие несколько максимумов интенсивности.

Выделено 572 вспышки со сверхпродолжительными временами подъема (более 60 мин), 80 % таких вспышек имеет более короткую главную фазу. Средняя относительная продолжительность составляет 0.67.

Впервые показано, что вспышки малой мощности с точки зрения особенностей развития не отличаются от крупных солнечных вспышек. Они так же, как и крупные вспышки, сопровождаются активизациями и исчезновением волокон, высокоскоростными выбросами масс, могут иметь взрывную фазу и многократные всплески интенсивности. Среди малых вспышек встречаются двухленточные вспышки и вспышки, покрывающие тень больших пятен. Низкий оптический балл в H α могут иметь также очень редко наблюдаемые белые вспышки, сопровождающиеся мощным жестким и микроволновым излучением.

2.3.1.5. Статистические исследования солнечных вспышек малой мощности. Продолжительность главной фазы

По данным международного вспышечного патруля сформирована электронная база солнечных вспышек за 1972–2010 гг. Проведены статистические исследования продолжительности главной фазы вспышек (спада). Впервые получены средние продолжительности главной фазы для отдельных классов вспышек (табл. 5, колонка I) и уточнены параметры распределений, полученные ранее.

Таблица 5. Продолжительность главной фазы солнечных вспышек

	кол-во		среднее		мода		медиана	
	I	II	I	II	I	II	I	II
S	85649	76984	-	14.1	-	4	10	10
1	9176	6325	-	33.8	-	12	22	27
2-4	1120	1285	-	61.0	-	35	45	49
Σ	95945	84559	15.5	16.2	8	4	11	11

В колонке II представлены результаты Temmer M., Veronig A., Hanslmeier A., Otruba W., Messerotti M. [3].

Выводы. Статистический анализ времени спада показал, что с ростом класса площади и яркости продолжительности главной фазы вспышек увеличиваются.

Впервые установлено, что время спада зависит от типа и особенностей развития солнечных вспышек (табл. 6). Согласно международной классификации, солнечные вспышки имеют следующие типы:

- D — brilliant point;
- E — two or more brilliant points;
- G — no visible spots nearby;
- H — flare accompanied by high-speed dark filament;
- K — several intensity maxima;
- L — existing filaments suddenly active;
- M — white-light flare;
- R — asymmetry in H α line suggests high speed mass ejection;
- S — brightness followed filament disappearance in same position;
- U — two bright branches, parallel or converging;

V — explosive phase: important expansion in about 1 min that often includes a significant intensity increase;

W — great area increase after time of maximum brightness;

Z — major sunspot umbra covered by flare.

Самую короткую главную фазу имеют вспышки с одним центром повышенной яркости внутри вспыхивающей области (D), самую продолжительную — вспышки, показывающие несколько максимумов интенсивности (K) и двухленточные вспышки (U).

Таблица 6. Продолжительность главной фазы вспышек различных типов

	D	все вспышки	H	V	G	E	U	K
S	11.2	14.1	14.3	15.4	15.9	16.7	25.4	33.5
1	21.0	33.8	29.5	36.6	28.6	31.3	50.0	50.6
2-4	46.4	56.2	49.8	66.3	56.5	52.5	80.2	67.6
Σ	12.1	16.2	18.1	18.0	17.9	20.2	43.8	39.4

Выделено 3393 случая со сверхпродолжительным временем спада (более 60 мин). Для 90 % таких вспышек время спада составляет 2–3 ч., в отдельных случаях — 12 ч.

2.3.1.6. Система послевспыхивающих петель по наблюдениям БСВТ

В отчетный период продолжались спектральные и фильтровые наблюдения солнечных эмиссионных образований на Большом солнечном вакуумном телескопе ИСЗФ СО РАН (БСВТ). Летом 2017 г. проведены спектральные наблюдения лимбовых эмиссионных образований на Солнце в линиях водорода H α и H β с одновременными изображениями этих образований. Объем наблюденного материала, полученного на ССД-камере Princeton Instruments (изображения Солнца), составляет около 100 Мб и ~2000 Мб — на камере FliGrab (водородные спектры).

Была исследована система поствспыхивающих петель, сопровождающих вспышку рентгеновского балла M7.7 (19 июля 2012 г.) на юго-западном лимбе. Уникальность настоящей вспышки состояла в том, что она является лучшим примером вспышек типа «Масуда», где наиболее четко был обнаружен характерный для этого типа второй верхний рентгеновский источник, так называемый источник выше вершины петли. Этим, возможно, и объясняется наличие высоких и ярких H α -петель через 3 ч после начала вспышки. На основании данных RHESSI (Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager) и SDO/AIA (Solar Dynamics Observatory/Atmospheric Imaging Assembly) по этой вспышке было выполнено несколько работ [6, 7, 8].

На рис. 14 показано изображение петель, полученное в интервале времени между изображениями петель в линии 94 Å. Сопоставление ИПФ-изображения в линии H α на БСВТ и изображения в области 94 Å по данным SDO/AIA позволяет увидеть, что в северной части всех трех изображений хорошо просматривается несколько дальних петель аркады. По оценке скорость подъема всей аркады петель составляет ~3.5 км/с.

$h \sim 41''$ 05:25:27 UT

$h \sim 85''$ 08:02:03 UT



$h \sim 56,8''$
 ~ 42000 км
06:55:56 UT

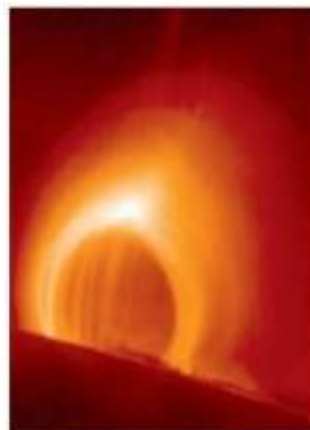
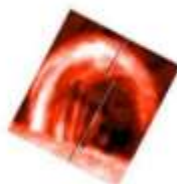


Рис. 14. Сравнение изображения петель в линии $94 \text{ \AA}$ (SDO/AIA) и в линии $H\alpha$ по ИПФ на щели спектрографа БСВТ

На рис. 15 можно видеть, что более мощные профили линий $H\alpha$ в петлях незначительно сдвинуты относительно несмещенного центра линии $H\alpha$, в то время как более слабые профили линии в петлях имеют значительный сдвиг в голубую сторону, т. е. профили, полученные по одной спектрограмме, существенно различаются. Фильтровые изображения петель в линии $H\alpha$ также показывают, что петли неоднородны по пространству. В основном профили имели форму, соответствующую доплеровскому расширению.

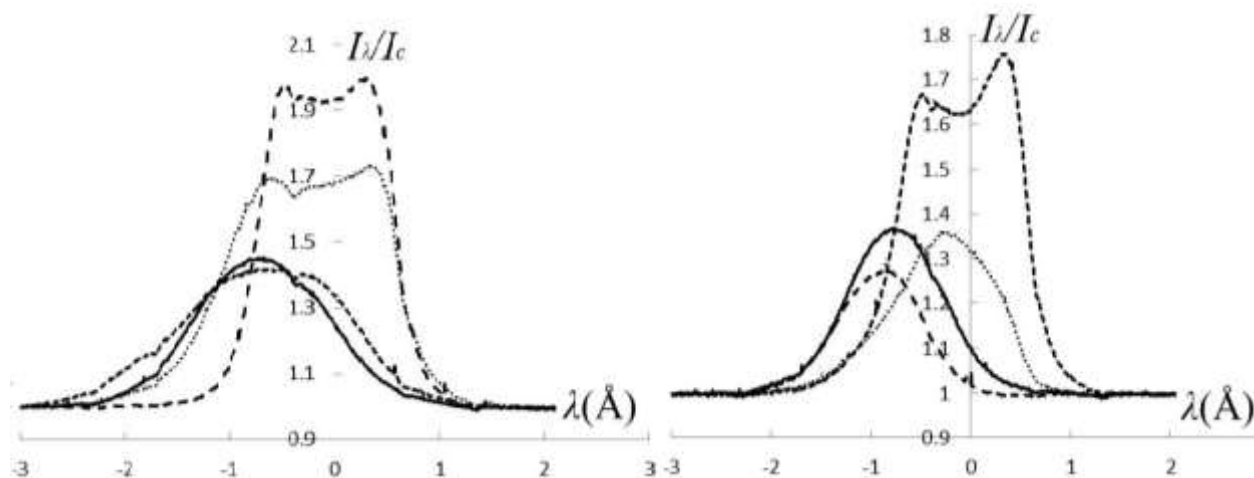


Рис. 15. Профили линии $H\alpha$ в нескольких разрезах поперек щели спектрографа в петлях

Знание доплеровской полуширины позволило оценить температуру и скорость микротурбулентности (или тепловую и нетепловую скорости). Температура определена в пределах $(1 \div 1.5)10^4$ К, скорость микротурбулентности < 20 км/с. Оптическая глубина использовалась для оценки геометрической глубины, а эквивалентная ширина линий — для определения меры эмиссии. В результате была получена электронная концентрация в петлях $\sim 10^{11} \text{ см}^{-3}$, которая несколько превышает концентрацию по оценкам других авторов. Такая характеристика профилей линии, как интегральная интенсивность, достигающая 12 %, также оказалась несколько выше средней (3–8 %). В целом, однако, эти данные незначительно отличаются от полученных ранее [5–7], более высокие значения электронной концентрации и температуры, найденные через несколько часов после начала вспышки, возможно, объясняются особенностью вспышки типа «Масуда».

2.3.1.7. Градиент магнитного поля в области вспышки

Установлено, что усредненные вдоль участка линии раздела полярностей (ЛРП) в области вспышки (после ее начала здесь наблюдалось резкое увеличение поперечного поля и углов наклона линий поля) значения градиента поля отдельно для положительной $[(\Delta B/L)^+]_{av}$ и отрицательной $[(\Delta B/L)^-]_{av}$ полярностей характеризуются следующей особенностью. До начала вспышки в течение нескольких часов градиент поля слабо нарастает на фоне сильных колебаний до значений, немного превышающих значение 0.1 Гс/км, а в момент, когда интенсивность мягкого рентгеновского излучения по данным GOES достигает максимума, $[(\Delta B/L)^{\pm}]_{av}$ резко уменьшается в два и более раз (рис. 16).

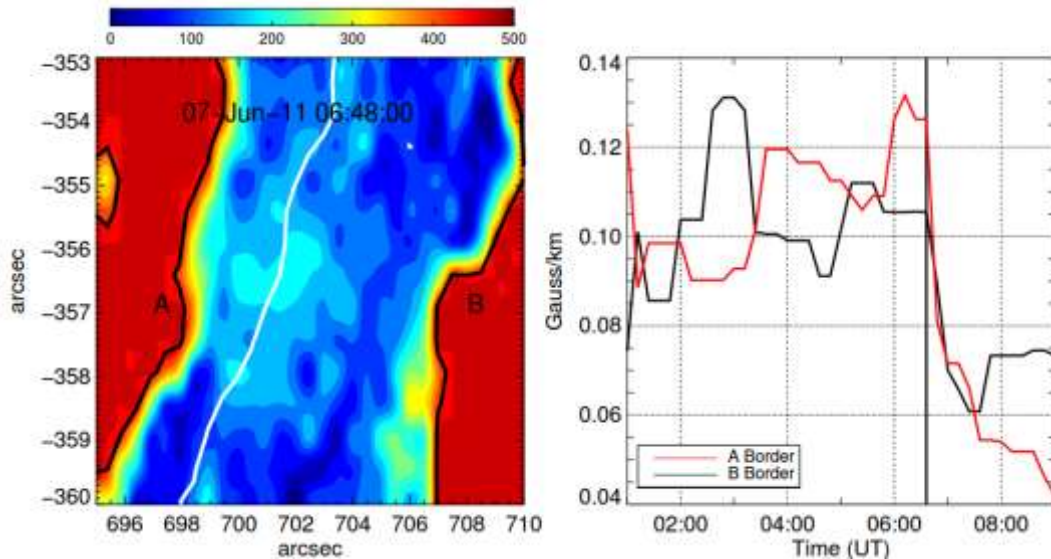


Рис. 16. Распределение модуля магнитной индукции и нанесенная линия раздела полярности (ЛРП, черные линии) $B_T=0$, усредненные по площадкам размером 10 пкс×10 пкс (слева); зависимости от времени усредненных вдоль ЛРП значений градиента магнитного поля $[(\Delta B/L)^{\pm}]_{av}$ в области положительной (красная линия) и отрицательной полярностей (черная линия)

2.3.1.8. Положение вспышечных лент относительно силовых линий магнитного поля

Показано, что, независимо от положения расходящихся по отношению друг к другу вспышечных лент, эти ленты в проекции на фотосферу оказываются вблизи локальных максимумов магнитной индукции B и глубоких минимумов углов наклона линий поля α или совпадают с ними. Другими словами, в области вспышечных лент линии поля в среднем более вертикальные, чем вне их. Углы наклона линий поля показаны на рис. 17.

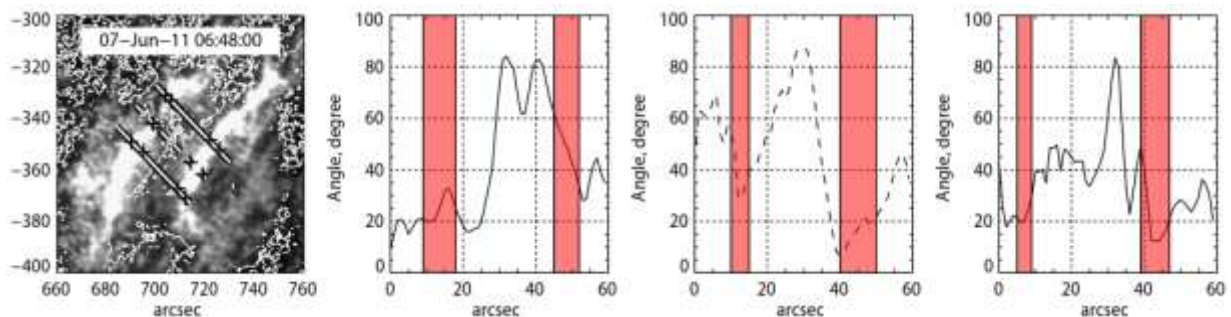


Рис. 17. показано изображение области эруптивного события в линии 1700 Å, на котором видны вспышечные ленты – полосы белого цвета, и отрезки прямых линий, пересекающих эти ленты, вдоль которых сканировались углы наклона силовых линий поля $\alpha(t)$ (левая панель). Справа показаны распределения $\alpha(t)$ вдоль трех отрезков. Розовым цветом выделены области вспышечных лент

2.3.1.9. Увеличение шира магнитного поля вблизи линии раздела полярностей

После начала вспышки наблюдается увеличение шира для силовых линий магнитного поля, полученных с использованием расчетов магнитного поля в бессиловом приближении, проведенных в области нарастания $B(t)$ и $\alpha(t)$ из точек вблизи ЛРП (рис. 18).

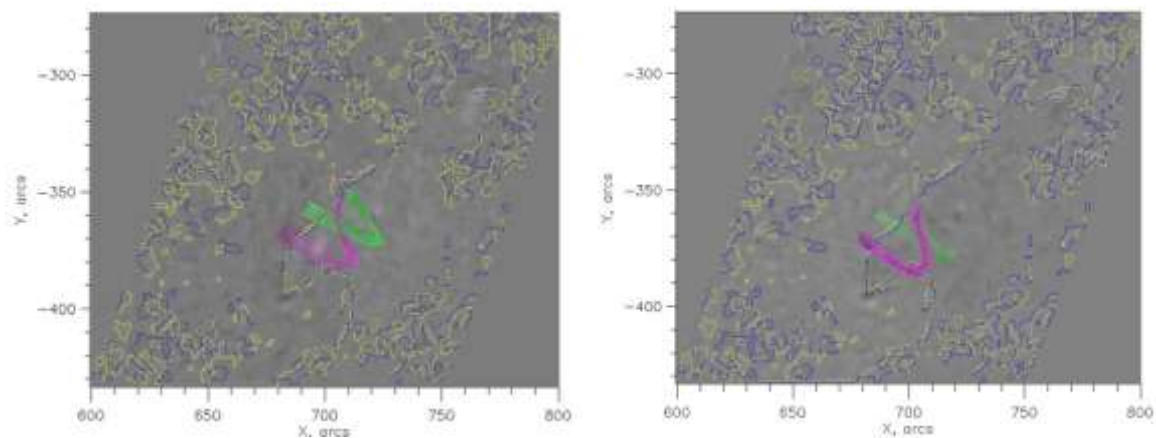


Рис. 18. Распределения радиальной компоненты магнитной индукции и ЛРП (желтый цвет — до начала вспышки, синий — после начала вспышки); силовые линии магнитного поля (зеленый — до начала вспышки, сиреневый — после начала вспышки). На левой и правой панелях линии поля проведены из разных участков вблизи ЛРП

2.3.2. Исследование солнечных эруптивных событий

2.3.2.1. Ударные волны в солнечном эруптивном событии

Умеренное солнечное эруптивное событие (вспышка балла M7.1, микроволновый всплеск до 4000 с.е.п. на частоте 9.4 ГГц, корональный выброс массы со скоростью 1446 км/с) дал мощные потоки солнечных энергичных частиц и наземное возрастание интенсивности космических лучей GLE63. Для выяснения причин нетипично высокой протонной продуктивности этого события исследованы многоволновые изображения и динамические радиоспектры (рис. 19) и результаты количественно согласованы. Дополнительная эрупция произошла в той же активной области за полчаса до главной эрупции, возбудившей в импульсной фазе две ударные волны, похожие на взрывные. Затем они слились вокруг радиального направления в одну более сильную ударную волну, прослеживаемую до $25R_{\odot}$ по гало перед расширявшимся телом коронального выброса массы (КВМ) (рис. 20) и в согласии с межпланетным радиоизлучением II типа, записанного спектрографом Wind/WAVES. Форма и кинематика гало предполагают его промежуточный режим между взрывной и головной ударной волной на этих расстояниях. Результаты показывают следующее: 1) ударная волна возникла на фазе роста вспышки и могла ускорить частицы раньше, чем обычно предполагается; 2) поток энергичных частиц мог быть усилен предыдущей эрупцией, которая вытянула замкнутые структуры над развивающимся корональным выбросом массы (КВМ), облегчила его подъем и выход частиц, ускоренных во вспышке, обеспечивая и более высокую скорость КВМ, и более сильную ударную волну перед ним; 3) выход ускоренных во вспышке частиц облегчен пересоединением магнитного жгута, в котором они были заперты, с большой корональной дырой (КД); 4) первая эрупция обеспечила богатую популяцию надтепловых частиц для ускорения последующей ударной волной.

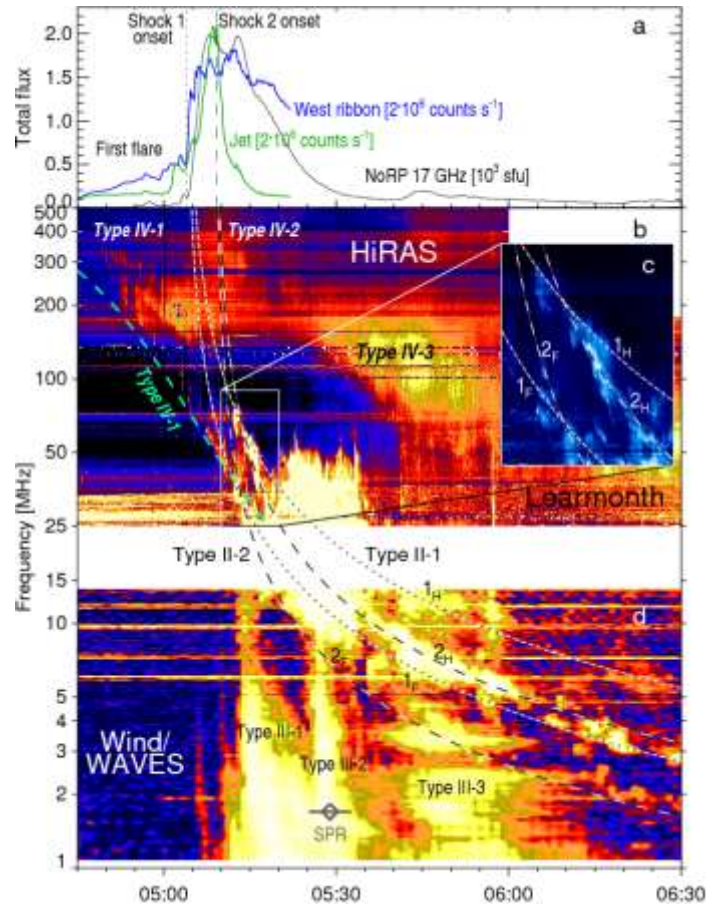


Рис. 19. Временные профили вспышечного излучения (a) и комбинированные динамические спектры (b, d). Вертикальными пунктирной и штриховой линиями на панели a отмечены моменты начала первой ($t_{01}=05:04:00$) и второй ($t_{02}=05:09:10$) ударных волн. Вставка c показывает увеличенную часть спектрограммы со всплеском II типа. Прерывистыми расчетными кривыми обведены траектории двух всплесков II типа: II-1 ($\delta_1=2.65$) и II-2 ($\delta_2=2.54$). Зеленой штриховой линией показана низкочастотная огибающая всплеска IV типа выше 25 МГц. Серым ромбом SPR отмечено оцененное время выхода частиц от Солнца с ошибкой, показанной серым отрезком

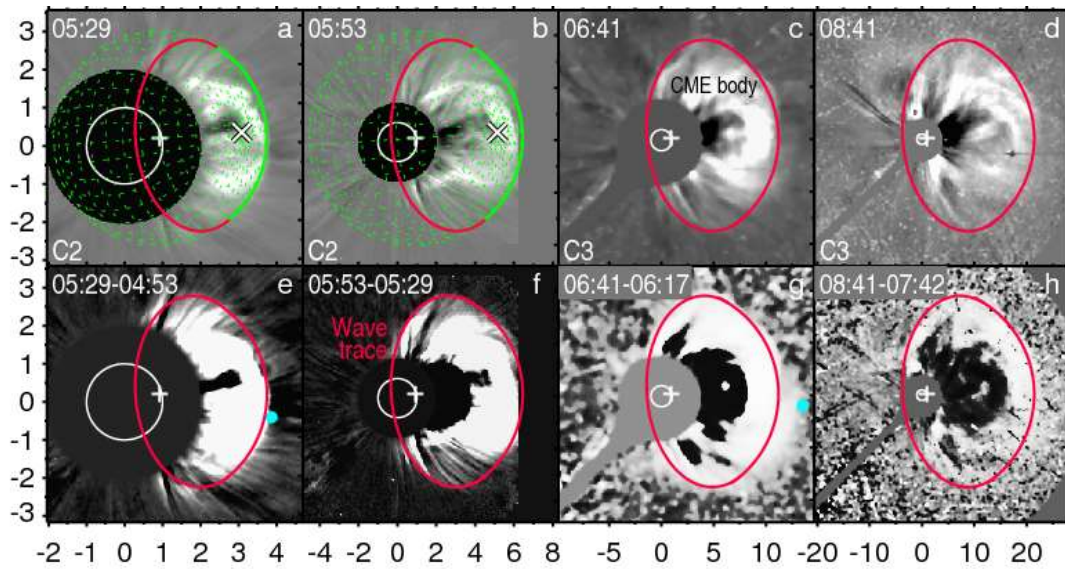


Рис. 20. Тело КВМ (a–d) и следы волны (e–h, бегущие разности) на изображениях коронографов LASCO/C2 и C3. Линии сетки на панелях a, b поясняют вычисление обвода фронта волны. Юго-западный выступ, отмеченный голубыми кружками на панелях e, g, вызван высокоскоростным потоком из КД

2.3.2.2. Развитие коронального выброса массы (КВМ), вызванного эрупцией протуберанца вне активных областей

Исследовано солнечное событие 17 августа 2013 г., связанное с эрупцией спокойного протуберанца вне активных областей и КВМ. Экранирование спокойного Солнца веществом протуберанца вызвало изолированный отрицательный микроволновый всплеск. По изображениям в крайнем ультрафиолете и с помощью модели радиопоглощения выполнены оценки параметров эруптивного вещества в разные моменты времени. Оба метода показали подобные изменения параметров при количественном отличии в пределах двух. Развитие КВМ исследовано по кинематике его фронта, разных составляющих ядра и их структурных изменений. Результаты выверены по фильмам, в которых расширение КВМ скомпенсировано согласно измеренной кинематике. Установлено, что масса КВМ $3.6 \cdot 10^{15}$ г в основном включала массу протуберанца $\approx 6 \cdot 10^{15}$ г, значительная часть которой стекла вниз. Масса составляющей с корональной температурой не превышала 10^{15} г. Выброс был инициирован эруптивным протуберанцем, который стал его ядром и оставался активным. Структурные и кинематические изменения начинались в ядре и распространялись наружу. Структуры КВМ продолжали формироваться при его расширении, которое не стало самоподобным до $25R_{\odot}$. Аэродинамическое сопротивление было несущественным. Ядро формировалось при подъеме КВМ до $4R_{\odot}$ а, возможно, и дальше. Некоторые из его составляющих выпрямлялись и вытягивались вперед, предполагая трансформацию запутанных структур ядра в более простой магнитный жгут, расширяющийся в полость и заполняющий ее.

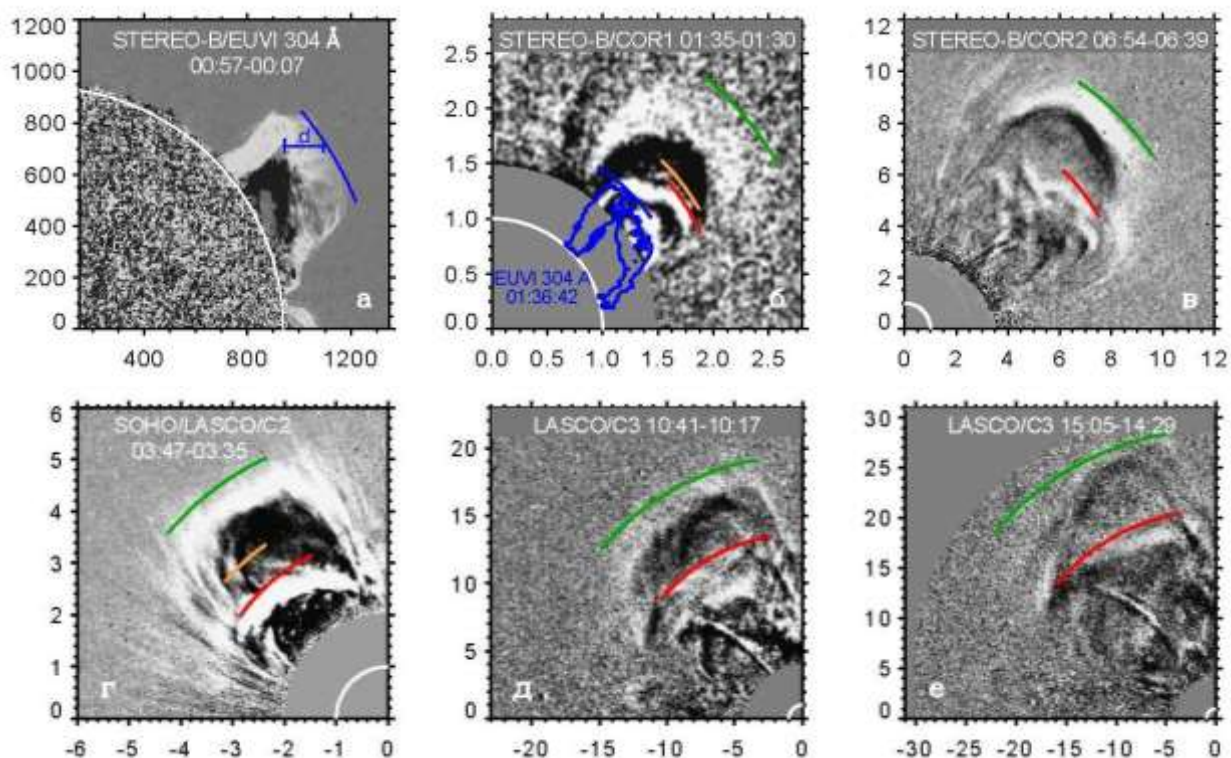


Рис. 21. Эруптивный протуберанец и КВМ 17.08.2013 г. на разностных изображениях STEREO-B и SOHO/LASCO: *a* – протуберанец в канале 304 Å (по осям — угловые секунды от центра солнечного диска); *б, в* — КВМ по данным STEREO-B/COR1 и COR2 (на кадре *б* синим контуром показано положение протуберанца, видимого в канале 304 Å в 01:36); *г–е* — КВМ по данным LASCO/C2 и C3. Цветными дугами с помощью рассчитанных аппроксимаций очерчен внешний край протуберанца (синяя дуга), разные сегменты ядра (красная дуга — средний сегмент, оранжевая — самый быстрый сегмент) и фронтальная структура (зеленая дуга). По осям — расстояния от центра диска Солнца в солнечных радиусах

2.3.2.3. Исследование природы взрывной и поршневой ударных волн, связанных с корональными выбросами массы

На основе анализа данных инструмента AIA/SDO (канал 193Å) впереди коронального выброса массы (КВМ) в лимбовом событии 13 июня 2010 г. удалось одновременно зарегистрировать и измерить фронты двух различных ударных волн. Угловой размер каждого из этих фронтов относительно центра КВМ составил около 20° , а их направления распространения отличаясь на $\approx 25^\circ$ (на $\approx 4^\circ$ по позиционному углу). Более быстрый фронт, (взрывная ударная волна) опережал фронт другой волны (поршневой) на $\Delta R \approx (0.02-0.03)R_0$ (R_0 — радиус Солнца) и имел максимальную начальную скорость $V_B \approx 850$ км/с (для поршневой волны $V_P \approx 700$ км/с). Появление и движение этих ударных волн сопровождалось всплеском радиоизлучения II-го типа на фундаментальной частоте F и второй гармонике H . Каждая из частот была расщеплена на две близкие частоты f_2 и f_1 , различающиеся на величину $\Delta f = f_2 - f_1 \ll F, H$. На основе проведенного анализа был сделан вывод о том, что наблюдаемое частотное расщепления Δf частот F и H радиоизлучения II-го типа может быть результатом одновременного распространения поршневой и взрывной ударных волн с различными скоростями в направлениях, которые отличаются значениями концентрации корональной плазмы. Это главный результат, отраженный на рис. 22.

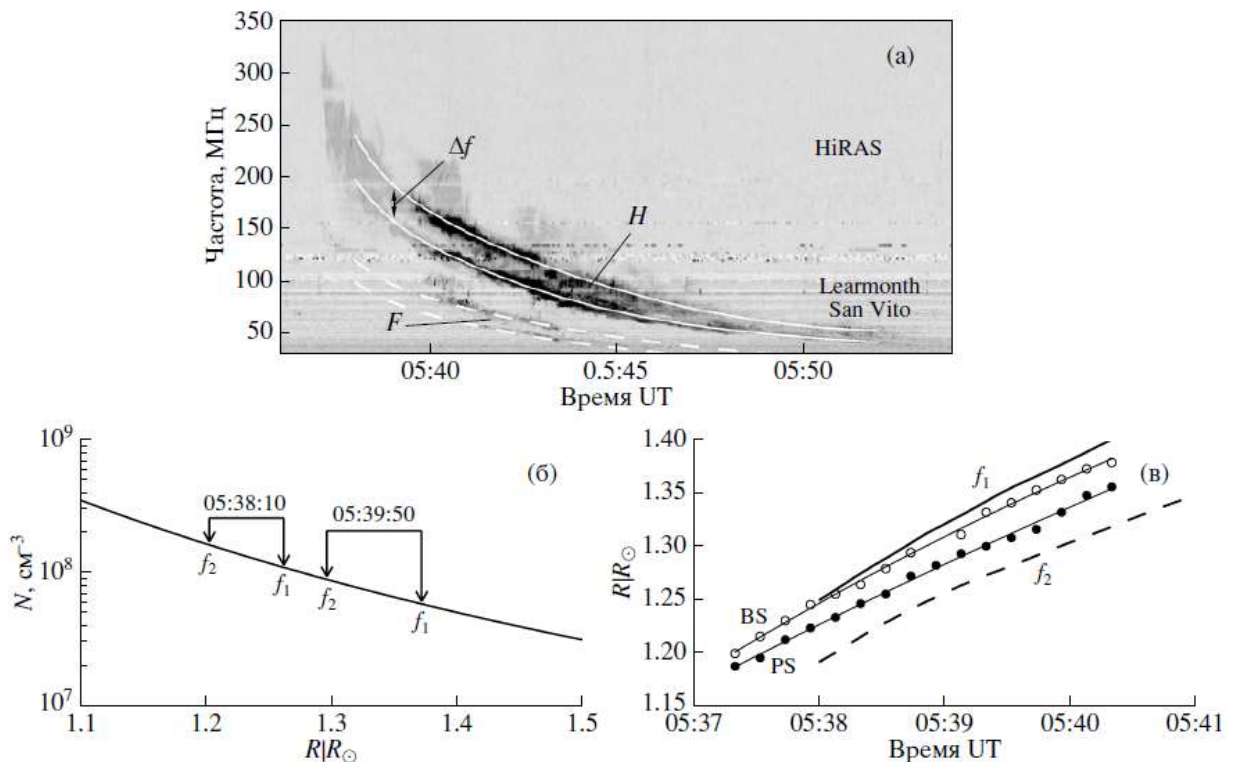


Рис. 22. Всплеск радиоизлучения II типа 13 июня 2010 г. на фундаментальной частоте F и второй гармонике H по данным радиоспектрографов HIRAS, Learmonth, San Vito (a). Каждая из частот расщеплена на две близкие частоты, различающиеся на величину $\Delta f = f_2 - f_1 \ll F, H$; б — распределения $N(R)$ из [4] (сплошная кривая). Стрелками отмечены рассчитанные значения концентрации, соответствующие измеренным компонентам расщепления f_1 и f_2 второй гармонике H двух последовательных моментов времени 05:38:10 и 05:39:50 UT; в — измеренные положения фронтов BS и PS (светлые и черные кружки) в зависимости от времени. Сплошная и штриховая кривые — рассчитанные зависимости $f(R)$ для частот f_1 и f_2 расщепления второй гармонике H

2.3.2.4. Эруптивные явления на фронтах взаимодействия магнитных потоков

На основании метода картографирования новых магнитных потоков на основе мультифрактального сегментирования карт полного вектора фотосферного магнитного поля, не зависящего от проекционных эффектов, с привлечением изображений хромосферы в линии H α получены следующие новые результаты.

1. Динамические явления в форме вспышек и корональных выбросов массы располагаются на фронтах взаимодействия новых магнитных потоков с окружающими старыми структурами.
2. Магнитные холмы нового поля сильно вытянуты, что связано с их жгутовой геометрией.
3. Найдены принципы построения охватывающей последнее столетие базы данных фильтрограмм Солнца в линии H α .

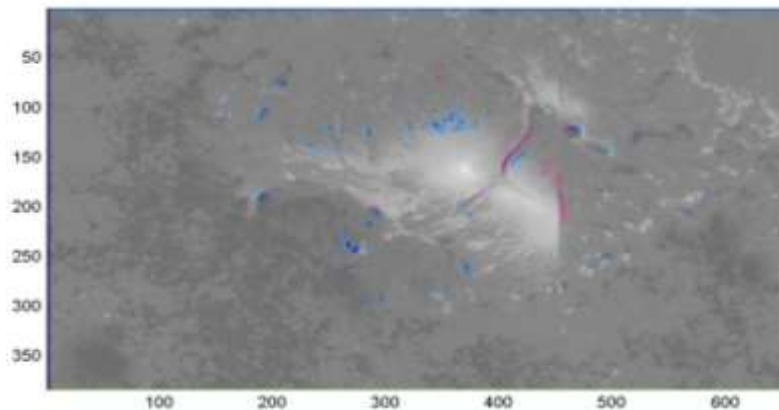


Рис. 23. Магнитограмма продольного магнитного поля АО 11520; красный цвет — новые магнитные потоки по карте H_z , синий и зеленый — по H_x и H_y

2.3.2.5. Возникновение ударной волны, связанной с КВМ

Исследовано возникновение ударной волны (УВ), связанной с корональным выбросом массы (КВМ), в поле зрения коронографа LASCO-C3. Показано, что УВ возникает, когда скорость тела КВМ на его оси превышает суммарную скорость $V_a + V_{sw}$, где V_a — алфвеновская скорость, V_{sw} — скорость медленного солнечного ветра, в котором движется значительная часть тела КВМ.

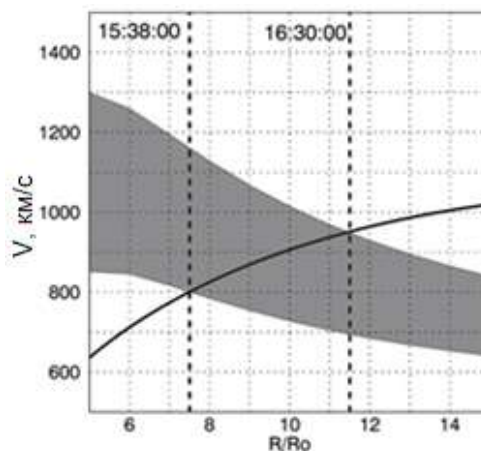


Рис. 24. Широкая полоса — пространственный профиль $V_a(R) + V_{sw}(R)$. Здесь V_{sw} — скорость медленного ветра из работы [4]: $V_{sw}^2 = 1.75 \cdot 10^5 [-\exp(-(R/R_s - 4.5)/15.2)]$, (км/с)². Черная сплошная линия — зависимость от расстояния продольной скорости тела КВМ приблизительно вдоль его оси. По горизонтальной оси отложено расстояние в радиусах Солнца от центра солнечного диска

Сформировавшаяся УВ оказывается бесстолкновительной, так как ширина ее фронта во много раз меньше длины свободного пробега заряженных частиц корональной плазмы. Сделан вывод, что эта УВ является головной по отношению к движущемуся со сверхальфвеновской скоростью телу КВМ. В то же время процесс формирования УВ включает укрупнение переднего фронта возмущенной области корональной плазмы впереди тела КВМ, что характерно для поршневой УВ.

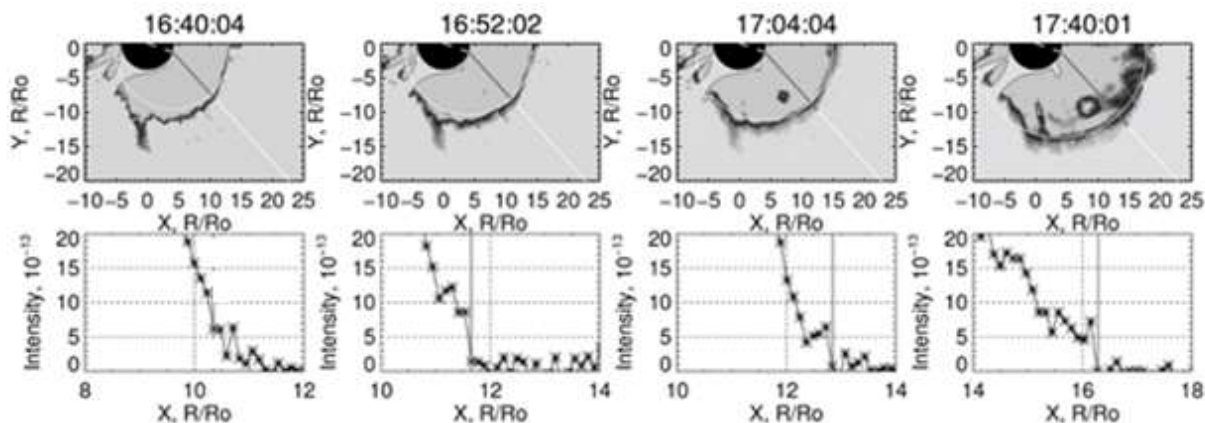


Рис. 25. Вверху — изображения участка короны по данным LASCO-C3. Прямые линии, пересекающие КВМ — направления, вдоль которых построены распределения яркости в нижнем ряду. Вертикальные линии на панелях 2–4 в нижнем ряду соответствуют положению УВ

2.3.2.6. Вариации магнитного поля пятен во время эрупции

Исследованы вариации магнитного поля в тени солнечных пятен во время эруптивных событий 2 августа 2011 г., 9 марта 2012 г., 11 апреля 2013 г., 7 января 2014 г. и 18 июня 2015 г. Анализировалось поведение максимума модуля магнитной индукции $B_{\max}$, минимального угла наклона силовых линий поля к радиальному направлению от центра Солнца $\alpha_{\min}$ (т. е. угла наклона оси магнитной трубки из тени пятна), а также средних в пределах тени значений магнитной индукции B_{mean} и среднего угла наклона линий поля α_{mean} . Приведем кратко результаты анализа для события 2 августа 2011 г. (рис. 26).

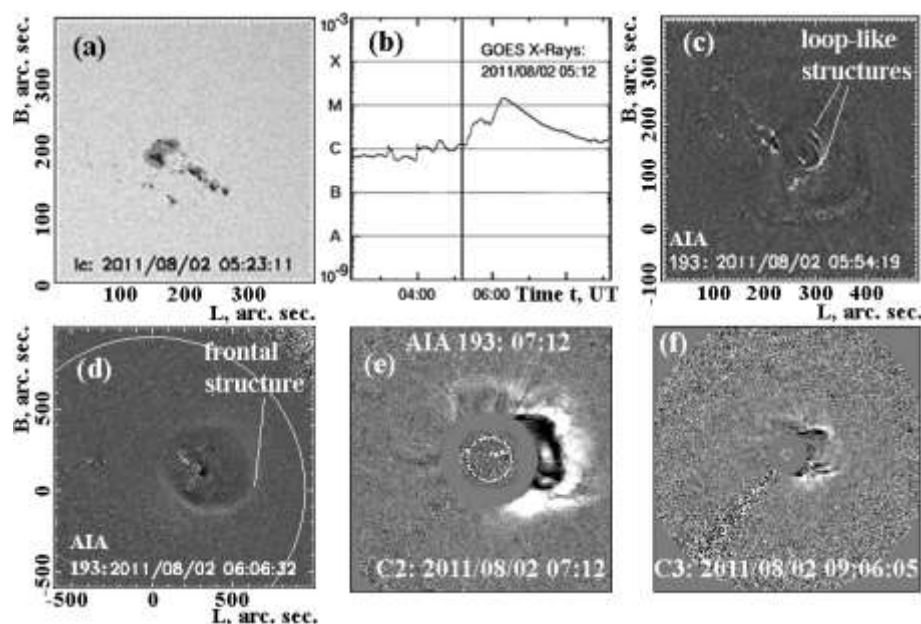


Рис. 26. Группа пятен АО NOAA 11261 до начала вспышки (a); GOES X-ray flux (1–8 Å) в зависимости от времени (b); магнитные петли по наблюдениям в канале 19.3 нм, движение которых привело к формированию фронтальной структуры КВМ (c); сформировавшаяся фронтальная структура КВМ (d); КВМ в поле зрения LASCO-C2 (e); КВМ в поле зрения LASCO-C3 (f)

Установлено, что характер вариаций усредненных $B_{\max}$ и B_{mean} заметно меняется до и после начала вспышки во всех пятнах 1–6, но изменения $B_{\max}$ и B_{mean} как до вспышки, так и после ее начала могут различаться. Наиболее отчетливо характер изменения углов и магнитного поля после начала вспышки наблюдается для пятна 5 (рис. 27). Это пятно оказалось рядом с левыми ногами петель (см. рис. 26, а), эрупция которых, предположительно, является триггером КВМ типа гало, который возникает после начала эрупции этих петель.

Из рис. 28 (вверху) следует, что спустя примерно 30 мин после начала вспышки $\alpha_{\min}$ и α_{mean} резко уменьшаются, но $\alpha_{\min}$ уменьшается примерно в 5 раз до величины $\sim 1^\circ$, а α_{mean} — на $\sim 25\%$ до величины $\sim 24^\circ$. Это означает, что магнитная трубка, выходящая из тени пятна 5, становится более радиальной без существенного изменения распределения поля в пределах трубки. Поведение со временем $B_{\max}$ и B_{mean} отличается в некоторых деталях до вспышки, а после ее начала изменения $B_{\max}$ и B_{mean} подобны: в течение приблизительно 2 ч их значения возрастают, достигая максимума, а затем медленно уменьшаются.

Новые результаты получены с использованием векторных измерений фотосферного магнитного поля с помощью инструмента SDO/HMI, расчетов магнитного поля в бессиловом приближении, а также многоволновых данных телескопов SDO/AIA.

В некоторой части активной области, в которой произошло эруптивное событие, в окрестности линии раздела полярности (ЛРП) фотосферного поля после начала вспышки резко возрастает модуль и поперечная компонента магнитной индукции, а также углы наклона силовых линий поля к положительной нормали к поверхности Солнца (рис. 28).

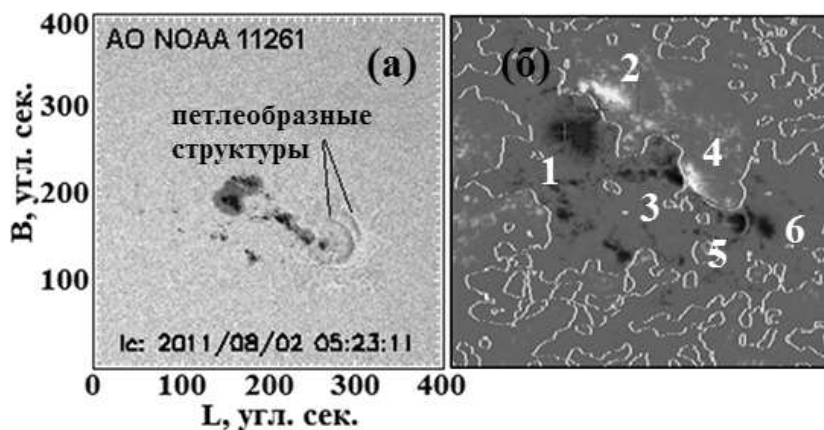


Рис. 27. Изображение солнечных пятен АО NOAA 11261 в континууме, на которое помещено изображение с петлеобразными структурами в канале 19.3 нм в 05:51 UT (а); б — распределение B_r с линиями раздела полярностей поля (линии белого цвета). Цифрами указаны холмы повышенных значений магнитного поля, соответствующих тени анализируемых пятен

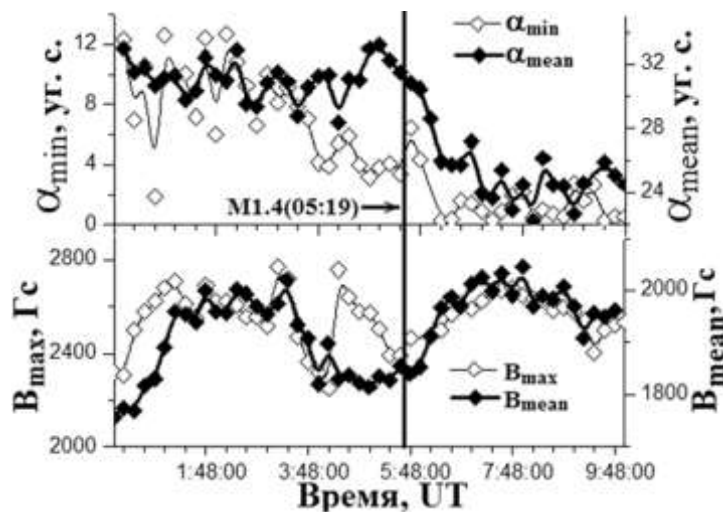


Рис. 28. Изменение со временем $\alpha_{\min}$ и α_{mean} (вверху), $B_{\max}$ и B_{mean} (внизу) в тени пятна 5. Вертикальная толстая линия — момент начала вспышки M1.4 (05:19 UT)

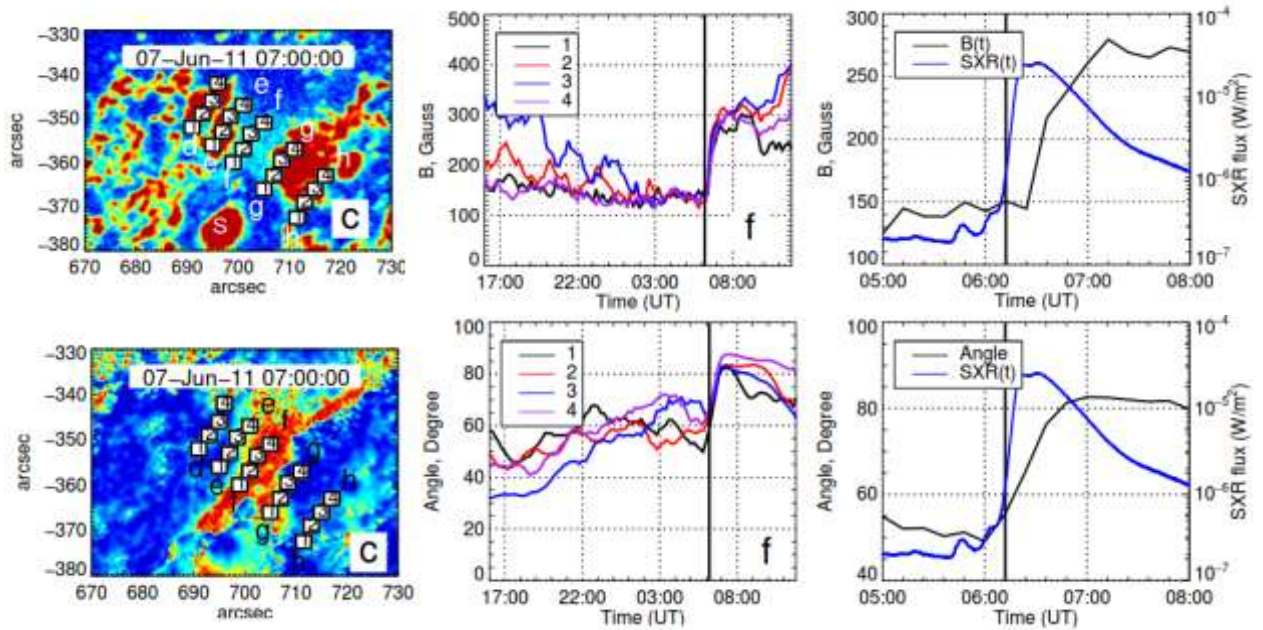


Рис. 29. Вверху: левая панель — распределение модуля магнитной индукции B в области эруптивного события с нанесенными квадратами, в пределах которых строились зависимости $B(t)$; центральная панель — изменение со временем $B(t)$ в квадратах, расположенных на ЛРП и обозначенных буквой f ; правая панель — сравнение изменения со временем $B(t)$ в квадрате 2 с изменением со временем интенсивности мягкого рентгеновского излучения $SXR(t)$. Внизу — то же для угла наклона α линий поля к положительной нормали к поверхности Солнца

2.3.2.7. Вертикальные токи в эруптивном событии

В области эруптивного события были рассчитаны вертикальные токи в трех участках области эруптивного события. Для участка (квадрат 1) в области резкого изменения параметров магнитного поля после начала вспышки изменения положительного, отрицательного и полного токов показаны на рис. 30.

Вывод: в области эруптивного события, где после начала вспышки резко увеличиваются магнитное поле и углы наклона силовых линий поля, ток обеих полярностей заметно уменьшается по модулю, а затем в течение 4–5 ч возвращается к исходным (до вспышки) значениям. В других участках области эруптивного события заметных изменений вертикальных токов после начала вспышки не наблюдается.

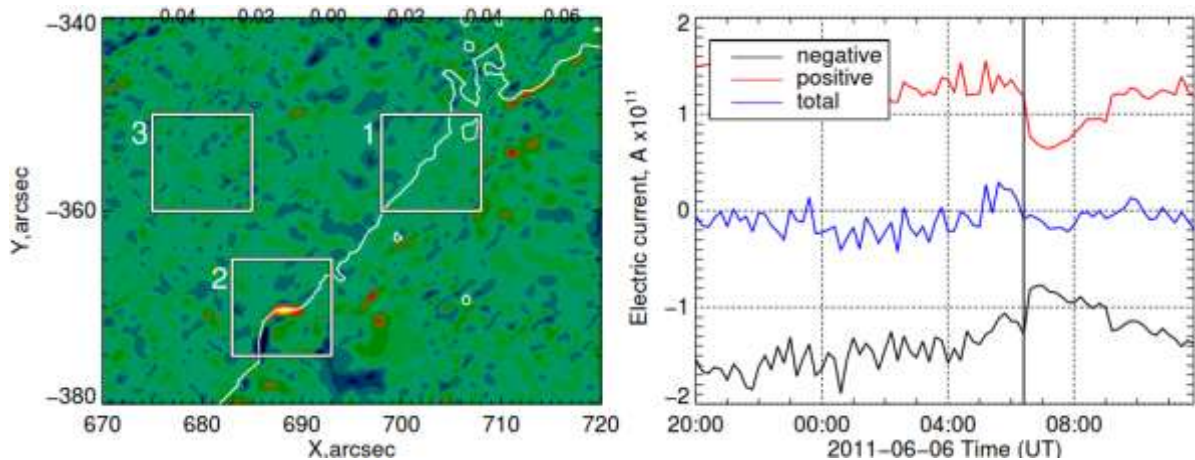


Рис. 30. Слева — распределение плотности электрического тока после начала вспышки в области эруптивного события. Белая линия — линия раздела полярностей магнитного поля. Справа — изменение положительного (красная линия), отрицательного (черная) и суммарного тока (синяя) токов в квадрате 1

2.3.2.8. Токовая спиральность в эруптивном событии

Исследованы вариации токовой спиральности в различных участках области эруптивного события.

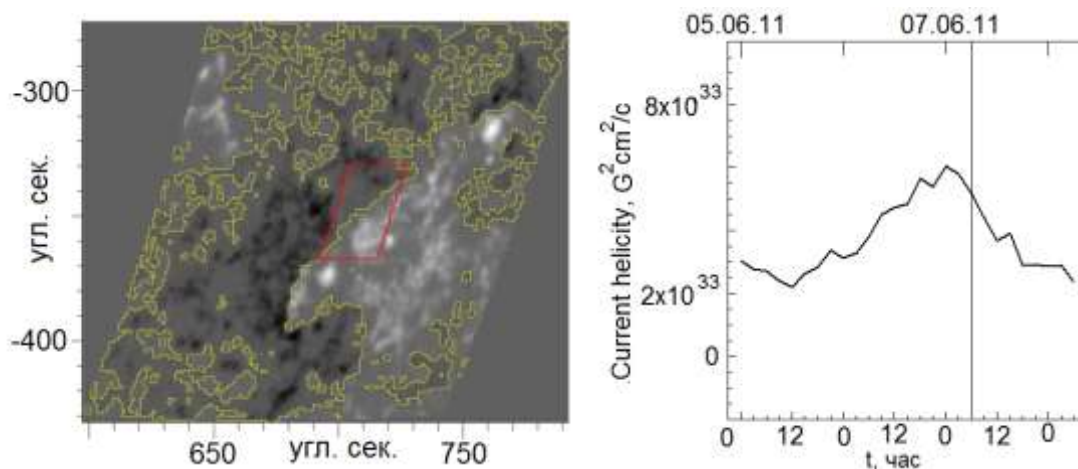


Рис. 31. Слева — область, над которой рассчитывалась токовая спиральность (красная линия). Эта область совпадает с той, в которой после начала вспышки резко нарастают магнитное поле и углы наклона силовых линий магнитного поля. Желтые линии — линии раздела полярностей фотосферного поля. Правая панель — зависимость токовой спиральности от времени

Выводы. Наиболее сильные относительные изменения токовой спиральности (ТС) со временем происходят над областью фотосферного поля, в которой после начала вспышки наблюдаются резкие увеличения фотосферного магнитного поля и углов наклона силовых линий поля. В этой области за ~42 ч до начала вспышки ТС увеличивается примерно в три раза, а за ~6 ч до начала вспышки ТС начинает уменьшаться, что продолжается после начала вспышки как минимум в течение 24 ч. Общее уменьшение составляет три раза. В то же время в момент начала вспышки резких изменений ТС не наблюдается. Сильное уменьшение ТС как минимум в течение 9 ч до начала вспышки и 6 ч после ее начала происходит над всей активной областью, в которой произошло эруптивное событие. Возможно, уменьшение ТС перед вспышкой является предиктором вспышки, но для проверки этого предположения требуется исследовать вариации ТС для большого количества эруптивных событий.

2.3.2.9. Свободная энергия в эруптивном событии

Исследовано изменение со временем свободной (E_{fr}) и полной (E_{fu}) энергии магнитного поля в области эруптивного события 07.06.2011 г. Обнаружено, что над областью фотосферы, где наблюдаются резкие увеличения фотосферного магнитного поля и углов наклона силовых линий поля после начала вспышки, в течение примерно 30 ч перед началом вспышки E_{fr} и E_{fu} возрастают на фоне колебаний до максимального значения ($6.3 \cdot 10^{31}$ и $9.4 \cdot 10^{31}$ эрг), а затем немонотонно уменьшаются в течение ~6 ч до начала вспышки и ~18 ч после начала вспышки (свободная энергия уменьшается примерно в шесть раз). В этой области E_{fr} больше энергии потенциального поля E_p до начала вспышки и E_{fr} и E_{fu} достигают максимального значения по сравнению с другими участками области эруптивного события. В отличие от события 15.02.2011 г., связанного со вспышкой X2.2, в момент вспышки 07.06.2011 г. не наблюдается резкого уменьшения свободной и полной энергии в начале вспышки. В других областях эруптивного события не наблюдается сильного нарастания E_{fr} и E_{fu} до начала вспышки, а накопленные значения этих энергий перед началом вспышки и после начала немного уменьшаются.

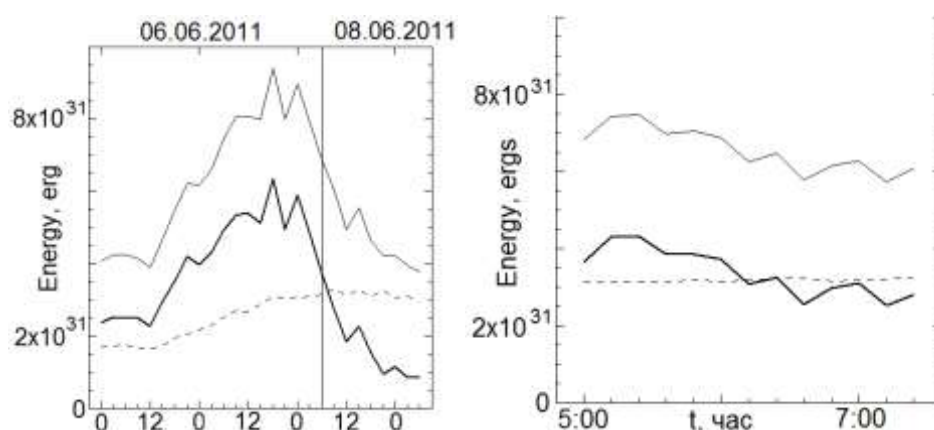


Рис. 32. Изменение со временем над областью, где после начала вспышки происходит резкое увеличение магнитного поля и углов наклона линий поля, энергии поля, рассчитанного в потенциальном приближении (штриховая линия), свободной энергии (жирная сплошная линия) и полной энергии магнитного поля (тонкая сплошная линия). Слева — результаты для длительного промежутка времени (шаг по времени 3 ч), справа — для короткого промежутка времени (шаг по времени 12 мин) в окрестности момента начала вспышки. Вертикальная линия на левой панели — момент начала вспышки

2.3.2.10. Полярные джеты в короне Солнца на стыке двух циклов солнечной активности

Было проанализировано изменение количества джетов в полярных областях солнечной короны в 2009–2014 гг. в дни без корональных выбросов массы (КВМ) или с КВМ вне исследуемого диапазона углов. Была оценена также связь между характеристиками джетов (количество и скорость) и полярных корональных дыр (КД).

В результате проведенной работы обнаружено возрастание количества джетов к максимуму солнечного цикла, северно-южная асимметрия с инверсией в 2012 г. Также отмечено увеличение значений скоростей джетов в максимуме цикла.

Асимметрия в количестве джетов связана с величиной и конфигурацией магнитного поля Солнца, различного в северной и южной полусферах, а инверсия — со сменой знака магнитного поля на полюсах. Также установлено, что нет прямой зависимости между характеристиками джетов и видимостью полярных КД.

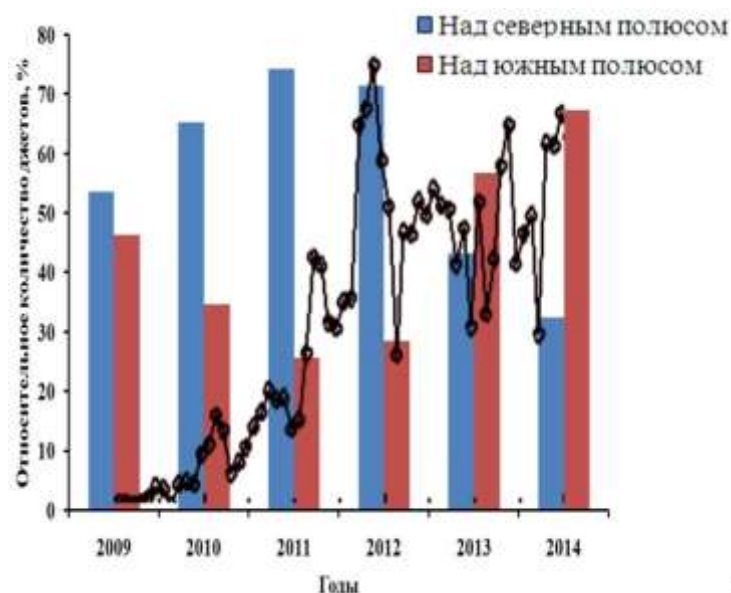


Рис. 33. Северо-южная асимметрия в изменении количества джетов

2.3.3. Солнечные факторы космической погоды

2.3.3.1. Выполнен статистический анализ соотношений параметров околоземных протонных возрастаний с энергиями >100 МэВ и потоков >0.1 pfu с разными параметрами солнечной эруптивной активности

Проанализированы соотношения между различными комбинациями пиковых потоков и флюенсов солнечных микроволновых всплесков, записанных радиополяриметрами Нобейма на частоте 35 ГГц в 1990–2015 гг., и соответствующими параметрами околоземных протонных возрастаний с энергиями >100 МэВ зарегистрированных в околоземном пространстве мониторами GOES. Список протонных событий расширен до слабых возрастаний >0.1 pfu. Установлено, что самая высокая корреляция наблюдается между флюенсами протонов и микроволнового излучения. Этот факт отражает зависимость полного числа протонов от общей продолжительности процесса их ускорения. В событиях с мощными вспышками коэффициенты корреляции флюенсов протонов с флюенсами микроволнового и мягкого рентгеновского потока выше, чем со скоростями КВМ. Результаты указывают на статистически больший вклад вспышечных процессов в ускорение высокоэнергичных протонов. Ускорение на ударных волнах оказывается менее значимым на высоких энергиях в событиях, связанных с мощными вспышками, хотя его вклад, вероятно, преобладает в более слабых событиях. Показано, что вероятность протонного возрастания прямо зависит от пикового потока и длительности микроволнового всплеска, анализ которой скорректирован по измерениям по половинному уровню. Результаты могут использоваться для диагностики протонных возрастаний по данным мониторинга микроволнового излучения.

2.3.3.2. Развитие нового метода ранней диагностики геоэффективности солнечных эрупций по магнитному потоку в постэруптивных аркадах и диммингах

По результатам анализа солнечных эрупций по данным телескопа крайнего ультрафиолетового диапазона EIT и магнитографа MDI на борту космической обсерватории SOHO оценивались интенсивность вызываемых ими нерекуррентных геомагнитных бурь и форбуш-понижений, произошедших в 23-м солнечном цикле (1997–2006 гг.). В настоящее время соответствующие патрульные солнечные наблюдения выполняются телескопом AIA и магнитографом HMI на борту космической обсерватории Solar Dynamic Observatory (SDO).

Для дальнейшего развития метода и его практического использования за период совместных наблюдений SOHO и SDO в 2010–2011 гг. проведено сравнение 1) локализации и формы площадок диммингов и аркад, выделяемых на изображениях EIT и AIA; 2) потоков продольного магнитного поля, измеренных на магнитографах MDI и HMI в крупных активных областях, находящихся в центральной зоне солнечного диска.

Установлено, что с принятыми ранее критериями и корректным учетом различий в откликах телескопов EIT и AIA на соответствующих изображениях выделяются совпадающие площадки диммингов и аркад, а магнитный поток, измеренный по MDI-магнитограммам, связан с потоком, измеренным по данным HMI, фиксированным коэффициентом 1.4.

С учетом этих результатов получены преобразованные эмпирические соотношения, позволяющие по эруптивному магнитному потоку, измеряемому на SDO, с заблаговременностью 1–4 сут оценивать основные параметры предстоящих возмущений космической погоды у Земли: интенсивность нерекуррентных геомагнитных бурь (индексы Dst и A_p) и глубину форбуш-понижений, а также времена их начал и максимумов. Приведены примеры такой диагностики крупнейших эрупций 24-го цикла солнечной активности.

2.3.4. Моделирование процессов в солнечной короне

В рамках исследования возможности диагностики температуры плазмы в корональных структурах, связанных с тенью пятна, с помощью 3-минутных колебаний было проведено численное МГД-моделирование распространения возмущений медленной магнитозвуковой природы в стратифицированных воронкообразных магнитных структурах солнечной короны с холодным и горячим центром. Протестированы различные методики в рамках численного кода LareNd и различные модели равновесных конфигураций корональных магнитных структур. Полученные в ходе моделирования распределения плазмы были использованы при получении синтетических изображений для анализа динамики волн, в частности, расчета видимых задержек в распространении возмущений. Показано, что рассчитанная задержка может быть существенной для диагностики параметров.

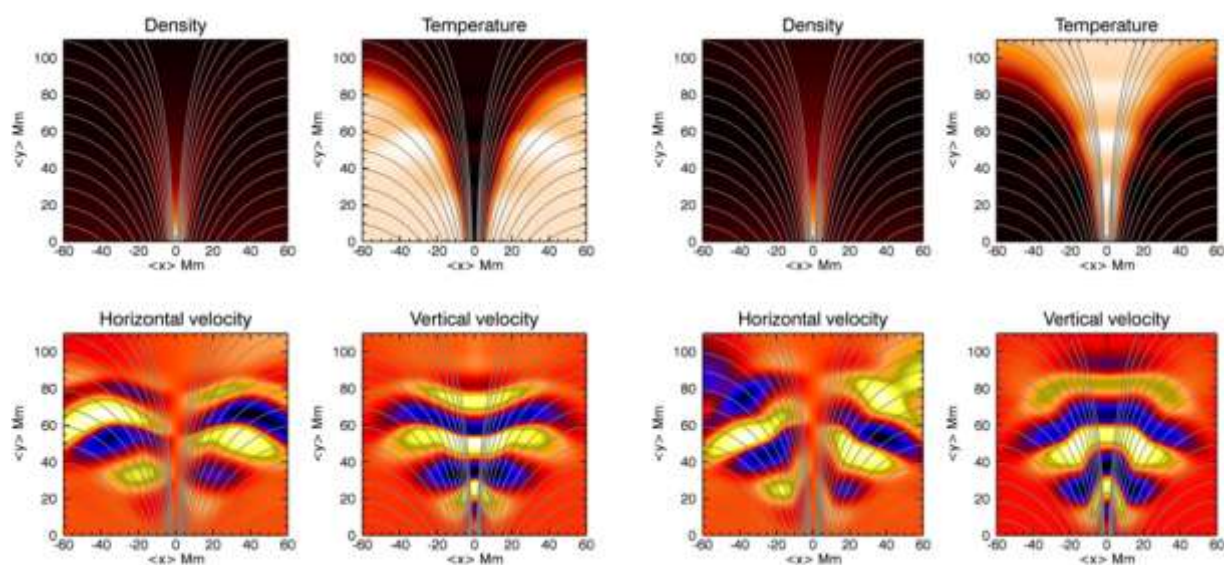


Рис. 34. Распределения МГД-величин (плотности, температуры и скорости плазмы) в моделях с холодным (слева) и горячим (справа) центрами

2.3.5. Наблюдения в интересах проекта

2.3.5.1. Мониторинг солнечной активности на хромосферных телескопах Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН

В 2017 г. выполнены регулярные наблюдения хромосферы Солнца (полный диск) в линии К CaII 393.4 нм. За 10 дней получено 90 изображений. Изображения в стандартизированной форме опубликованы на сайте Института. С апреля 2017 г. телескоп демонтирован для последующих ремонта и реконструкции оптической части.

В летнее время выполнены квазирегулярные наблюдения хромосферы Солнца (полный диск) в линии H α 656.3 нм. За 57 дней получено 24920 изображений, что на 28 % больше, чем в 2016 г. Уникальные данные о морфологии солнечных вспышек, самых мощных за последние 12 лет (рис. 35), получены 7–10 сентября.

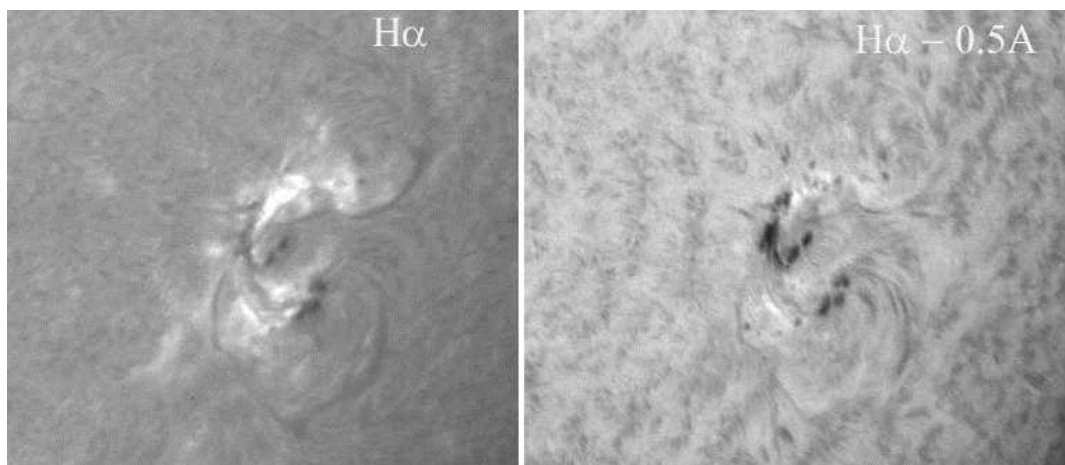


Рис. 35. Изображения солнечной вспышки в центре и крыле линии $H\alpha$, полученные 7 сентября 2017 г. на хромосферном телескопе БАО ИСЗФ СО РАН

2.3.6. Список использованных источников

1. Алтынцев А.Т., Банин В.Г., Куклин Г.В., Томозов В.М. Солнечные вспышки. М.: Наука, 1982. 246 с.
2. Смит Г., Смит Э. Солнечные вспышки. М.: Мир, 1966. 426 с.
3. Temmer M., Veronig A., Hanslmeier A., Otruba W., Messerotti M. Statistical analysis of solar $H\alpha$ flares / *Astron. Astrophys.* 2001. V. 375. P. 1049–1061.
4. Newkirk G., Jr. The solar corona in active regions and the thermal origin of the slowly varying component of solar radio radiation // *Astrophys. J.* 1961. V. 133. P. 983.
5. Sheeley et al. Measurements of flow speeds in the corona between 2 and $30R_{\odot}$ // *Astrophys. J.* 1997. V. 484. P. 472–478.
6. Skomorovsky V.I., Firstova N.M. The Large Solar Vacuum Telescope: the optical system, and first spectral observations // *Solar Phys.* 1996. V. 163. P. 209.
7. Liu W., Chen Q., Petrosian V. Plasmoid ejections and loop contractions in an eruptive M7.7 solar flare: evidence of particle acceleration and heating in magnetic reconnection outflows // *Astrophys. J.* 2013. V. 767. P. 168.
8. Грицык П.А., Сомов Б.В. Рентгеновское и микроволновое излучение солнечной вспышки 19 июля 2012 года: высокоточные наблюдения и кинетические модели // *Письма в АЖ.* 2016. Т. 42. С. 586.
9. Krucker S., Battaglia M. Particle densities within the acceleration region of a solar flare // *Astrophys. J.* 2014. V. 780. P. 107.
10. Svestka Z., Fontenla J.M., Machado M.E., Martin S.F., Neadig D.F., Poletto G. Multi-thermal observations of newly formed loops in a dynamic flare // *Solar Phys.* 1987. V. 108. P. 237.
11. Heinzel P., Schmieder B., Mein P. Structure and dynamics of cool flare loops // *Solar Phys.* 1992. V. 139. P. 81.
12. Schmieder B., Heinzel P., Wilk J.E., Lemen J., Anwar B., Kotrch P., Hiei E. Relation between cool and hot post-flare loops of 26 June 1992 derived from optical and X-ray (SXT-Yohkoh) observations // *Solar Phys.* 1995. V. 156. P. 337.
13. Chertok I.M., Grechnev V.V., Belov A.V., Abunin A.A. Magnetic flux of EUV arcade and dimming regions as a relevant parameter for early diagnostics of solar eruptions - sources of non-recurrent geomagnetic storms and Forbush decreases // *Solar Phys.* 2013. V. 282. P. 175.
14. Chertok I.M., Abunina M.A., Abunin A.A., Belov A.V., Grechnev V.V. Relationship between the magnetic flux of solar eruptions and the ap index of geomagnetic storms // *Solar Phys.* 2015. V. 290. P. 627.

2.4. Радиоастрономические исследования динамических процессов в солнечной короне

2.4.1. Исследование структуры солнечных вспышек по многоволновым наблюдениям

На основе наблюдений в разных спектральных диапазонах была детально исследована солнечная вспышка 26 декабря 2001 г. большой длительности, сопровождавшаяся всплеском космических лучей на Земле. Установлено, что спектры микроволнового излучения сохраняли постоянную форму в течение вспышки, несмотря на значительные вариации интенсивности. Положения движущихся микроволновых источников демонстрировали высокое согласие с наиболее яркими участками вспышечных лент (см. рис. 36). Показано, что микроволновое излучение генерировалось в аркаде вспышечных магнитных петель, основания которых наблюдались как яркие точки в ультрафиолетовом диапазоне; интерпретация подобных мощных вспышек требует создания сложных моделей, включающих множество неоднородных магнитных петель.

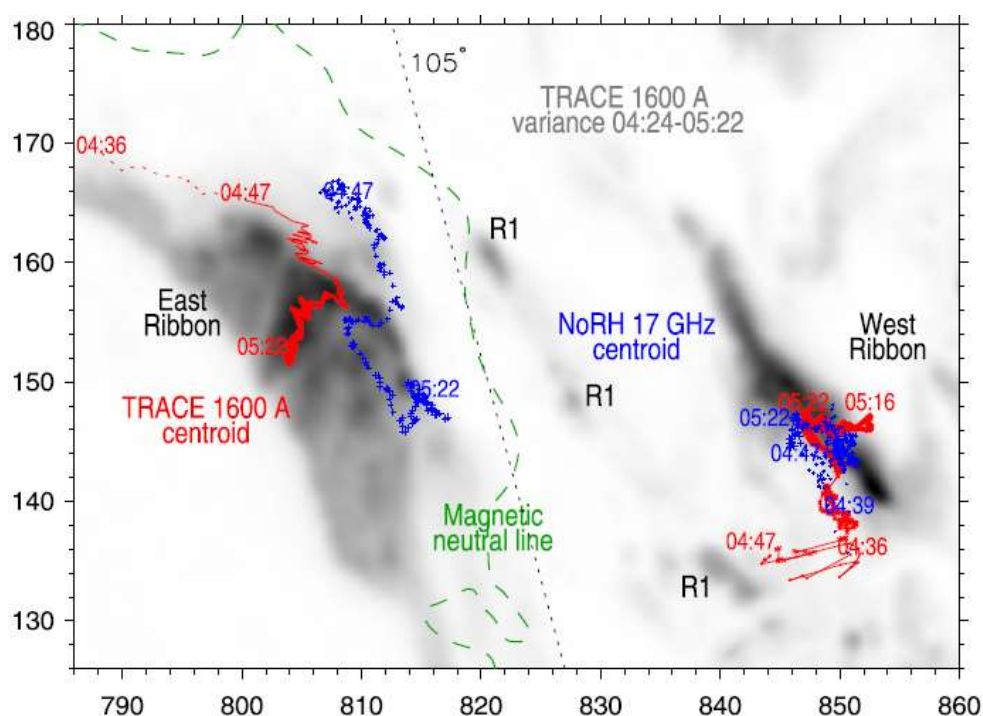


Рис. 36. Движения вспышечных лент (по изображениям TRACE, 1600 Å) и источников микроволнового излучения (по данным радиогелиографа Нобеяма, 17 ГГц) во вспышке 26.12.2001 г.

2.4.2. Исследование механизмов ускорения частиц в солнечных вспышках

Для солнечной вспышки 15 мая 2013 г. были определены характеристики ускоренных электронов и магнитогидродинамической турбулентности (см. рис. 37); использовались рентгеновские наблюдения спутника RHESSI, микроволновые наблюдения обсерватории Нобеяма и пространственно разрешенные ультрафиолетовые спектры спутника Hi-node. Установлено, что область локализации турбулентности пространственно совпадает с областью ускорения частиц во вспышке, а временная эволюция энергии турбулентности демонстрирует высокую корреляцию с потоком энергии ускоренных электронов. Полученные результаты представляют собой первое непосредственное доказательство стохастического механизма ускорения частиц в солнечных вспышках.

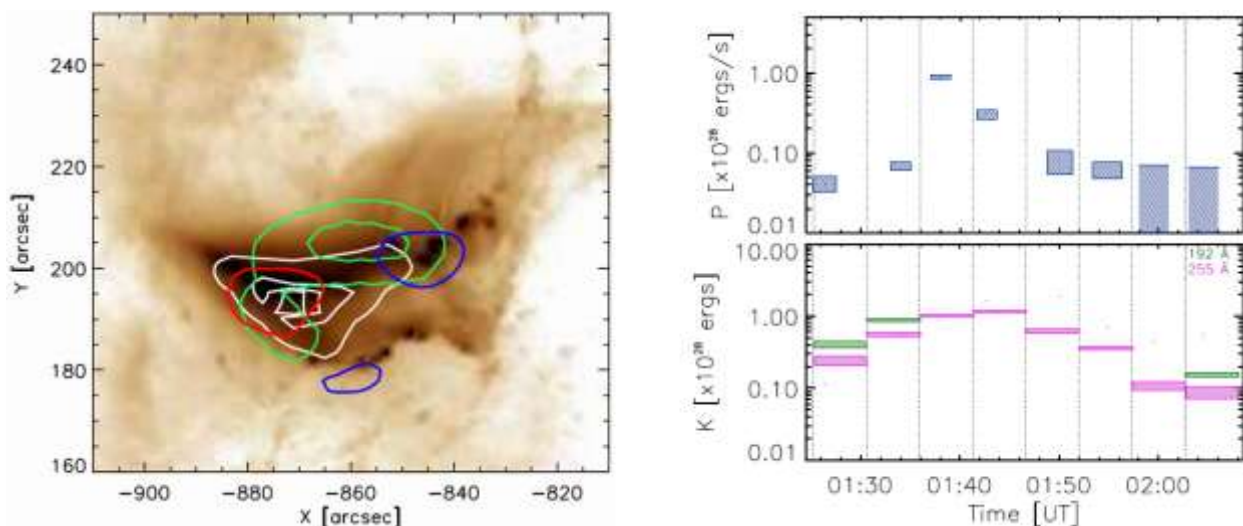


Рис. 37. Изображения вспышки 15.05.2013 в разных спектральных диапазонах (слева); временные профили потока энергии ускоренных электронов (справа сверху) и энергии плазменной турбулентности

Были исследованы также три вспышки, в которых нижняя часть вспышечной области была закрыта лимбом Солнца, что позволило детально исследовать процессы в вершинах вспышечных петель, где происходит ускорение частиц; использовались рентгеновские наблюдения спутника Fermi, а также других инструментов в разных спектральных диапазонах (рис. 38). Были определены характеристики ускоренных электронов и протонов в области их ускорения; показано, что ускорение протонов, скорее всего, происходило в ударной волне на фронте коронального выброса массы.

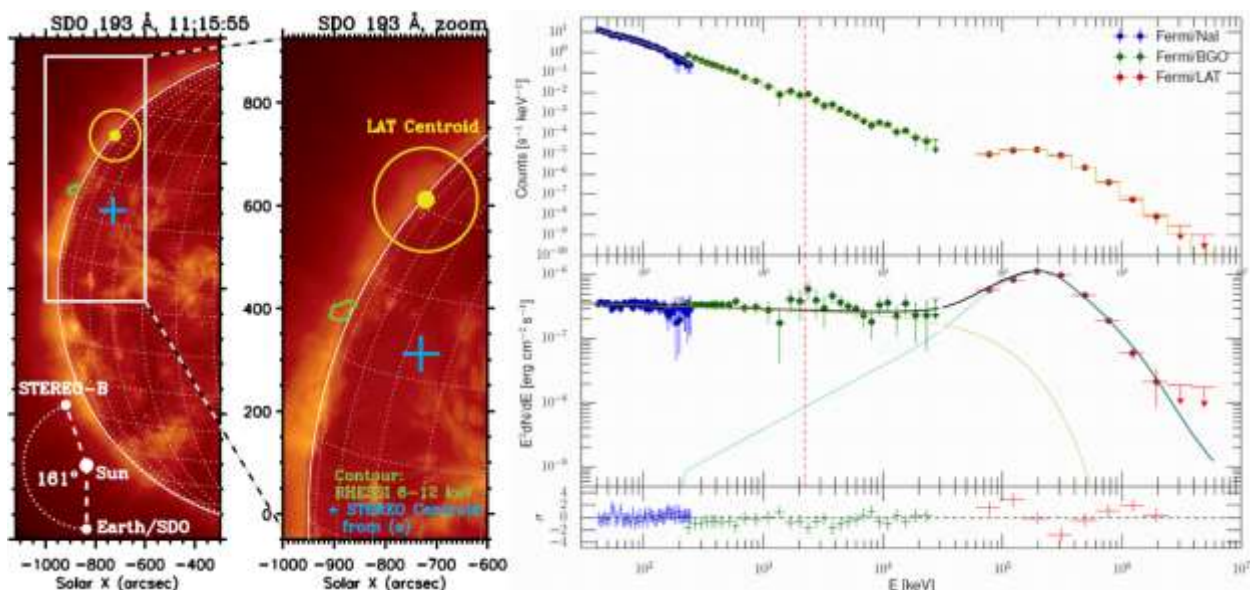


Рис. 38. Локализация вспышки 01.09.2014 г. по наблюдениям SDO, STEREO, RHESSI и положение источника Fermi-LAT (слева); спектры рентгеновского излучения для этой вспышки по данным Fermi-GBM/LAT

2.4.3. Развитие методов и инструментов для моделирования солнечного радиоизлучения

Было проведено детальное исследование методов экстраполяции коронального магнитного поля по фотосферным магнитограммам. Для этого использовались результаты моделирования с помощью точной магнитогидродинамической модели Bifrost [1], которая

позволяет получить распределение магнитного поля в короне без использования бессило-вых и других приближений. Данное распределение сравнивалось с результатами нелиней-ной бессиловой экстраполяции (NLFFF) по модельным магнитограммам на разных уров-нях (рис. 39). Показано, что ряд часто используемых методов обработки наблюдаемых магнитограмм в действительности приводит к появлению систематических ошибок в вычисленном магнитном поле; с другой стороны, использование данных о магнитном поле в хромосфере позволяет значительно повысить точность экстраполяции коронального магнитного поля. Известные методы устранения π -неопределенности векторных магнито-грамм могут некорректно работать в областях спокойного Солнца.

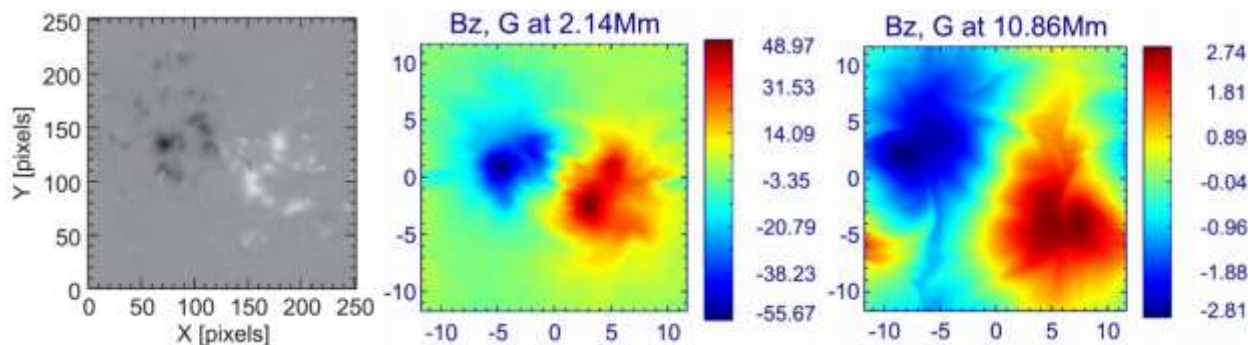


Рис. 39. Модельная магнитограмма Bifrost в основании активной области (слева); результа-ты экстраполяции магнитного поля на двух высотах (в центре и справа)

2.4.4. Список использованных источников

1. Gudiksen B.V., Carlsson M., Hansteen V.H., Hayek W., Leenaarts J., Martínez-Sykora J. The stellar atmosphere simulation code Bifrost. Code description and validation // Astron. Astrophys. 2011. V. 531, id. 154.

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

2.5.1. Исследование особенностей фотометрических характеристик космических объектов в широком диапазоне фазовых углов

Важнейшим инструментом контроля технического состояния космических аппаратов (КА) и исследования свойств космического мусора (КМ) является некоординатная инфор-мация, получаемая с помощью наземных оптических телескопов. Одним из ее видов явля-ется зависимость блеска объекта от фазового угла (угла между наблюдателем, спутником и Солнцем). При выполнении работы на телескопе АЗТ-33ИК были получены и исследованы фазовые зависимости активных КА на геостационарных и средневысотных орбитах и ма-лоразмерного КМ.

Примеры фазовых зависимостей блеска различных активных КА в широком диапа-зоне фазовых углов показаны на рис. 40. Видно, что фазовые зависимости различных ти-пов КА имеют разную форму (почти линейная для геостационарных объектов и куполо-образная для КА ГЛОНАСС). Вместе с тем КА, смонтированные на одной платформе, по-казывают примерно одинаковые фазовые зависимости.

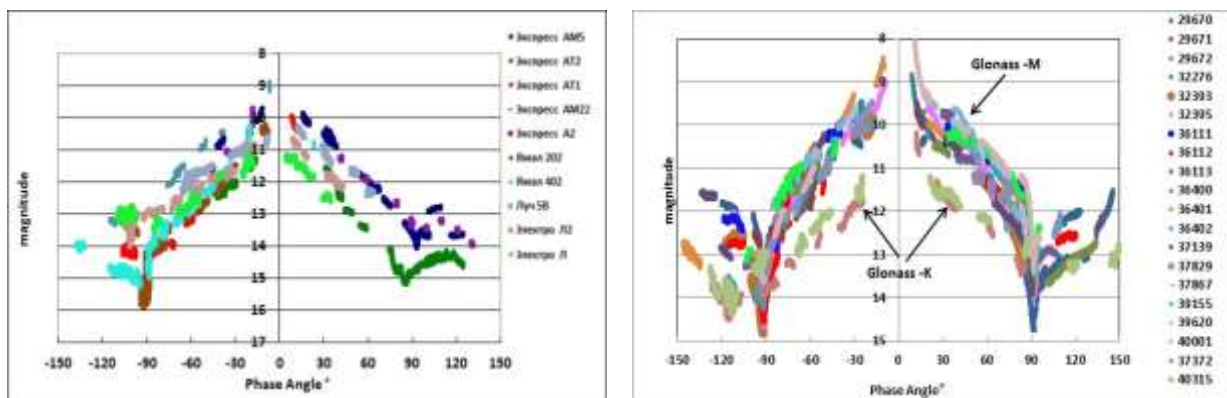


Рис. 40. Фазовые зависимости активных КА в широком диапазоне фазовых углов: геостационарные КА (слева) и КА ГЛОНАСС

В работе [1] предложена простая фотометрическая модель геостационарного КА, учитывающая ориентацию солнечных батарей и корпуса спутника, а также вклад пепельного света. В нашей работе мы применили данную модель для КА на средневысотных орбитах. На рис. 41 показано сопоставление модельного суммарного потока излучения, отраженного от КА ГЛОНАСС-М и пересчитанного в звездные величины, с экспериментальными данными, полученными по нескольким КА в широком диапазоне фазовых углов. Видно, что с помощью простой фотометрической модели удалось достаточно хорошо описать поведение блеска однотипных КА на больших фазовых углах.

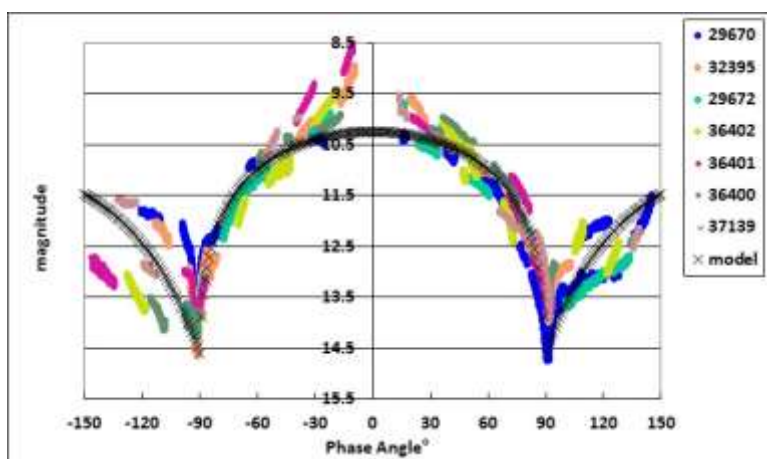


Рис. 41. Сопоставление модельной фазовой зависимости КА ГЛОНАСС-М с экспериментальными данными

2.5.2. Методика определения параметров орбит космических объектов, обнаруживаемых в обзорных наблюдениях ОКП

При проведении обзорных наблюдений в околоземном космическом пространстве возникает задача определения орбиты у вновь обнаруженного космического объекта (КО). Как правило, на начальном этапе измерений данных оказывается недостаточно для определения параметров точной орбиты и в процессе наблюдений орбита объекта уточняется. Требуется организовать процесс измерений таким образом, чтобы максимально быстро и эффективно провести определение орбиты объекта и при этом не потерять его. Для решения этой задачи была разработана соответствующая методика.

Первым этапом процесса нахождения орбиты вновь обнаруженного КО является определение предварительной или начальной орбиты. В качестве начальной орбиты вычисляется как круговая орбита по двум измерениям, так и эллиптическая с применением

метода Гаусса по трем угловым измерениям без использования сложных моделей движения в предположении, что движение КО является невозмущенным.

При прогнозировании движения объекта на следующую ночь строится средняя орбита по всем наблюдениям первой ночи с учетом зональных гармоник земного геопотенциала (основной фактор — сжатие Земли). Средняя орбита уточняется с помощью новых измерений второй ночи.

Когда интервал наблюдения охватывает 3 сут и более и на нем получены 4–5 серий измерений, можно определить параметры более точных элементов оскулирующей орбиты, отнесенной к тому или иному моменту времени. При этом учитываются возмущения, связанные с несферичностью Земли (до 6-й гармоники), лунно-солнечные возмущения и влияние светового давления. Полученная оскулирующая орбита позволяет делать прогноз движения объекта на интервалы от нескольких дней до месяца. Становится возможным решение задачи по сопровождению объекта, и объект может быть включен в каталог КО. Определяется также такой параметр, как отношение площади к массе (ОПМ).

С декабря 2016 по март 2017 г. в течение ~40 ночей проведен сеанс наблюдений на 1.6-м телескопе АЗТ-33ВМ с целью каталогизации неизвестных объектов, обнаруженных в ходе обзорных наблюдений. Для 29 объектов удалось определить оскулирующие орбиты по измерениям не менее трех ночей. Погрешности при определении орбит показаны на рис. 42. Видно, что точность определения орбит абсолютного большинства объектов выше 2".

В целом экспериментальная проверка подтвердила эффективность разработанной методики и позволила оптимальным образом провести определение параметров орбиты у 29 вновь обнаруженных КО.

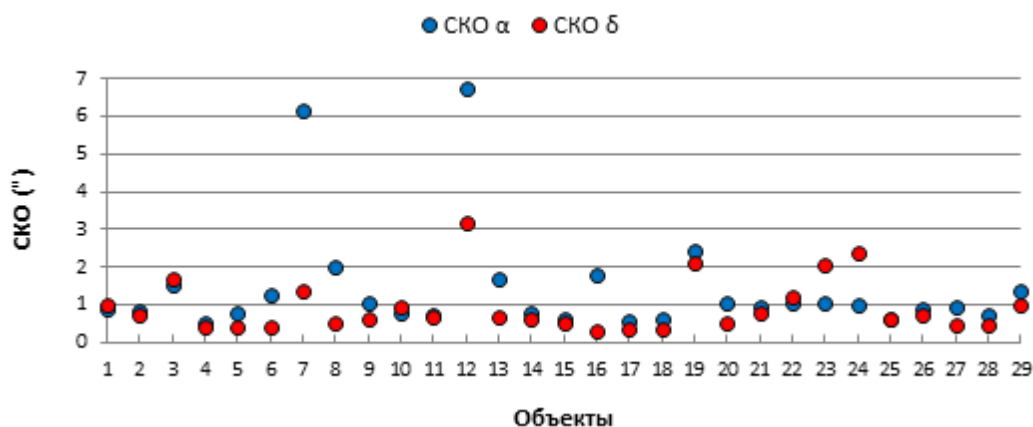


Рис. 42. Среднеквадратичные отклонения по прямому восхождению α и склонению δ при определении оскулирующих орбит

2.5.3. Обзорные наблюдения для поиска неизвестных астероидов. Координатные и фотометрические измерения астероидов

В 2017 г. в Саянской солнечной обсерватории (ССО) ИСЗФ СО РАН проводились поисковые наблюдения астероидов. В качестве инструмента использовался светосильный, широкоугольный 1.6-м телескоп АЗТ-33ВМ. Основная стратегия поиска новых астероидов заключалась в проведении обзоров неба с высокой проникающей способностью вблизи Млечного пути в области эклиптики. В отличие от больших и малых телескопов, 1.6-м телескоп АЗТ-33ВМ умеренного размера — наиболее подходящий инструмент для наблюдений слабых объектов на границе Млечного пути, где плотность звезд уже достаточно высока.

Для обработки наблюдательного материала, полученного при обзорах астероидов, использовалась программа для автоматизированного открытия астероидов и комет на серии ПЗС-кадров CoLiTeс [2]. На рис. 43 показаны фрагменты двух кадров, полученные с интервалом 20 мин, с астероидом 2006 WO156 который имел блеск 20.9^m.

Для предположительно некаталогизированных астероидов проводились последующие наблюдения в ту же и другие наблюдательные ночи для уточнения их орбит.

Всего в 2017 г. проведено пять сеансов поисковых наблюдений, в которых было выявлено 169 подвижных относительно звезд объектов. Все данные по обнаруженным объектам были переданы в Центр малых планет. Данные по 74 астероидам и одной комете опубликованы в Minor Planet Circular (MPS_20170205, MPS_20170212, MPS_20170305, MPS_20170312, MPS_20170319, MPS_20170402, MPS_20170416, MPS_20170521, MPS_20170924, MPS_20171005, MPS_20171015) Центра малых планет. Четыре астероида (2017 DO119, 2017 DP119, 2017 DQ119, 2017 DR119) были признаны открытыми в ССО. Звездные величины открытых астероидов, соответственно, 21^m , 21.5^m , 20.4^m , 21.6^m .

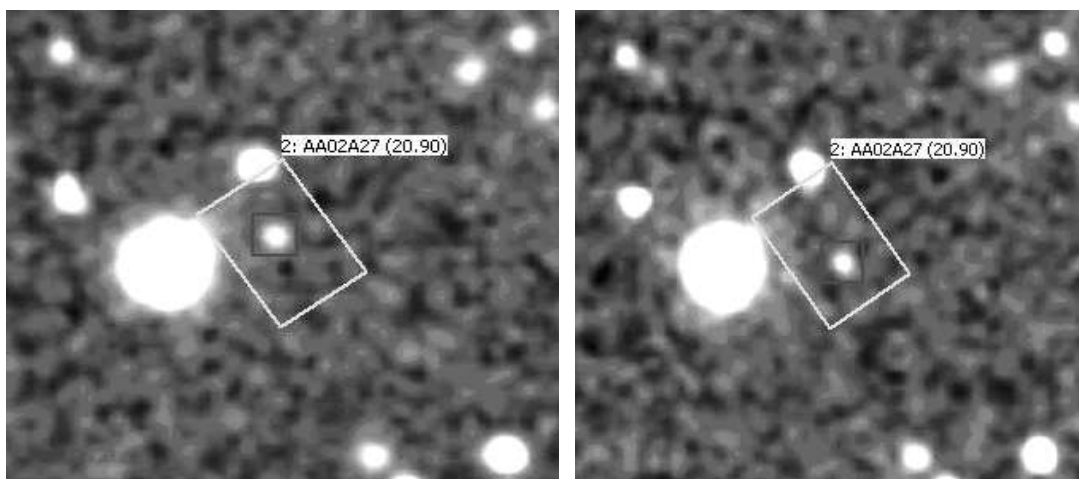


Рис. 43. Фрагменты двух кадров, полученных с интервалом 20 мин, с астероидом 2006 WO156 (блеск 20.9^m)

2.5.4. Программное обеспечение для оперативной обработки оптических изображений

Измерения КО, проводимые с целью определения орбиты или кривых блеска, включают в себя получение серий изображений КО в течение некоторого интервала времени. При обработке, для того чтобы связать воедино все данные по полученной серии, необходимо отметить интересующий КО на каждом изображении, т. е. выполнить разметку кадра. Это не представляет труда, когда полученных изображений немного. Однако во многих случаях серии измерений включают большое число изображений. Например, при проведении координированных измерений низкоорбитальных КО оптическим телескопом и радаром за время пролета в зоне видимости телескопа порядка 5 мин (зависит от траектории КО) с типичной экспозицией 0.5 с может быть получено до 600 изображений. При анализе кривых блеска требуется получение серий общей длительностью до 20–30 мин с экспозициями 1 с и менее. В этом случае за одну серию измерений может быть получено до нескольких тысяч изображений.

В тех случаях, когда серии велики, процесс отметки объектов на изображении становится весьма трудоемким и существенно ограничивает скорость обработки и, соответственно, оперативность получения информации. Программа Target предназначена для предварительной обработки больших серий кадров, полученных при измерениях КО, с целью отметки положения измеряемого объекта. Эта информация затем используется программным пакетом Арех II [3] для связывания данных измерений по конкретному объекту в единую серию.

На рис. 44 представлено окно программы Target. Оно имеет несколько областей: справа сверху расположен список файлов с обрабатываемыми изображениями, текущее изображение отображается слева. Справа внизу в увеличенном масштабе отображается область, содержащая отмечаемый объект. В статусной строке выводятся параметры теку-

щего изображения, полный путь к расположению текущего файла, а также параметры, определенные для отмечаемого объекта.

Программа Target существенно упрощает и ускоряет процесс подготовки данных к обработке. Процесс ручной разметки серии из 100 кадров у опытного оператора занимает время не менее 1 мин, в то время как с помощью программы Target это можно сделать примерно за 10 с. Если объект смещается в кадре, процесс ручной разметки усложняется многократно, при этом значительно возрастает вероятность ошибки. Данная программа решает эту проблему. Следует отметить, что по своей сути программа Target повторяет программы ручной разметки изображений, улучшая возможности и эффективность обработки больших серий измерений. Программное обеспечение для полностью автоматической обработки должно, по-видимому, использовать иной алгоритм работы: выделение всех объектов на изображении, измерение их координат и последующее связывание в единую серию для каждого объекта по серии наблюдений.

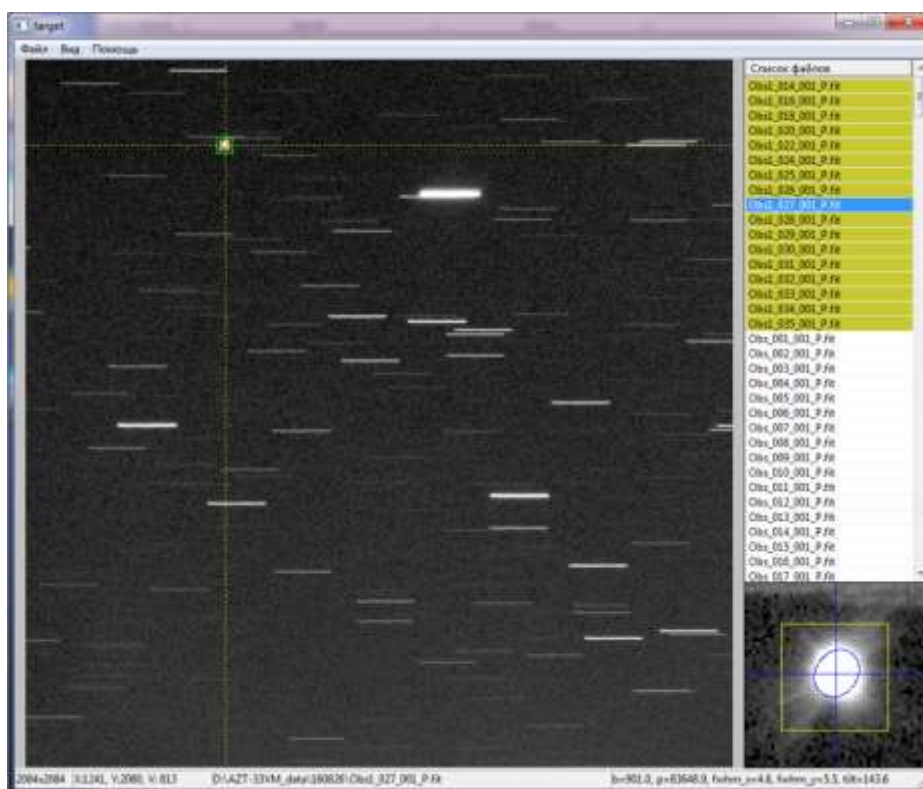


Рис. 44. Окно программы Target

2.5.5. Усовершенствованная система обмена данными при координированных наблюдениях радио- и оптическими инструментами

При координированных наблюдениях низкоорбитальных космических объектов (НКО) на радиооптическом комплексе ИСЗФ СО РАН первичным источником информации о наблюдаемом объекте является Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР, Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы, ОРДА). С момента входа КО в сектор сканирования радара получаемые данные о положении КО в режиме реального времени передаются через Центр управления и обработки (ЦУО, ИСЗФ) в Саянскую солнечную обсерваторию для оперативного наведения оптического телескопа АЗТ-33ИК, второго компонента радиооптического комплекса. Элементом системы, отвечающим за прием данных от ЦУО, является агент взаимодействия. Была предложена усовершенствованная схема обмена информацией, использующая дополнительный программный компонент — сервер целей (рис. 45).

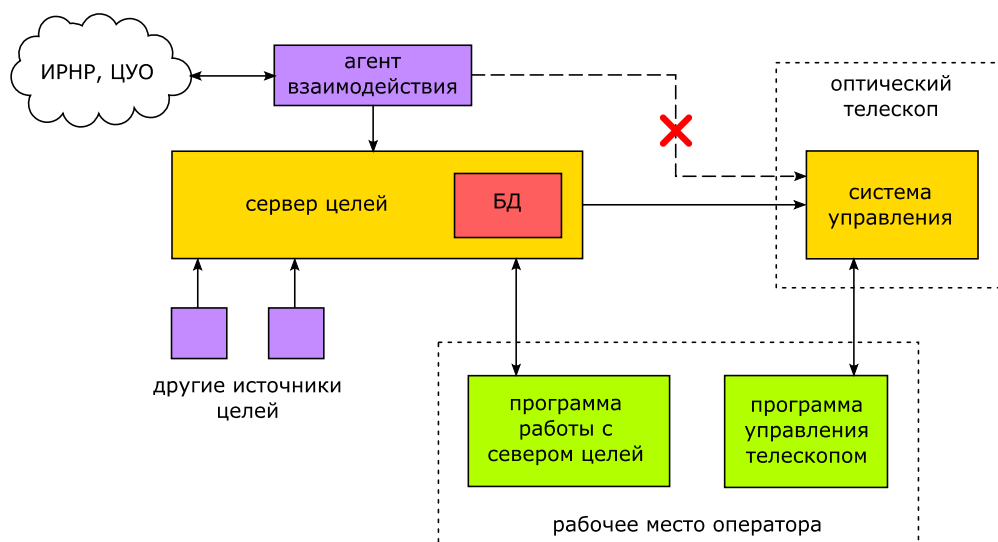


Рис. 45. Компоненты ПМО Саянского астрокомплeкса для радиооптических наблюдений КО

Сервер целей входит в состав программно-математического обеспечения Саянского астрокомплeкса и изначально предназначен для приема, хранения и обработки целеуказаний по вновь обнаруженным КО, т. е. объектам, координатная информация по которым существенно пополняется прямо в процессе их измерения. Задачи такого типа возникают, например, при обзорных наблюдениях на широкоугольных оптических телескопах. При радиооптических наблюдениях сервер целей получает от агента взаимодействия данные радарных измерений по всем КО, попадающим в сектор сканирования радара, и сохраняет их. Для работы с этими данными наблюдатель использует специальную программу-клиент, подключенную к серверу целей. В функции программы входит оповещение наблюдателя о появлении новых КО, отображение текущего положения, прогнозируемой траектории движения и других параметров для заданного КО, выдача команды в систему управления оптического телескопа о выполнении наведения на КО для проведения измерений.

2.5.6. Список использованных источников

1 Cognion R.L. Observations and modeling of GEO satellites at large phase angles // Proc. Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference. Maui HI, USA, 2013. URL: <https://amostech.com/TechnicalPapers/2013/POSTER/COGNION.pdf> (дата обращения 20.10.2017).

2 CoLiTec — программа автоматизированного поиска астероидов и комет на серии ПЗС-кадров. URL: http://www.neoastrosoft.com/colitec_ru/ (дата обращения 14.11.2017).

3 Девяткин А.В. и др. Программные пакеты «Апекс-I» и «Апекс-II» для обработки астрономических ПЗС-наблюдений // Астрон. вестник. 2010. Т. 44, №. 1. С. 74–87.

2.6. Фундаментальные основы мониторинга и контроля околоземного космического пространства в оптическом диапазоне

2.6.1. Расчет параметров отсекающей прямой засветки для телескопа АЗТ-33ВМ

Широкоугольный телескоп АЗТ-33ВМ представляет собой светосильный инструмент для поиска и обнаружения слабых объектов в широком поле, разработанный ИСЗФ СО РАН совместно с АО «ЛОМО» [1]. В его изготовлении участвовали ОАО «ЛЗОС» и АО «ЛОМО». Телескоп построен по схеме «квази-Ричи—Кретьена» с предфокальным линзовым корректором поля, имеет диаметр главного зеркала 1.6 м, фокусное расстояние

5.6 м, поле зрения 2.8° . Конструкция телескопа АЗТ-33ВМ изначально не включала в себя систему светозащиты. В ходе выполнения работ по проекту разработаны и изготовлены система светозащиты для рабочего поля зрения $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, а также разработана конструкция такой системы для поля зрения $1.3^\circ \times 2.7^\circ$ и проведено ее моделирование.

2.6.1.1. Система светозащиты для поля зрения $0.5^\circ \times 0.5^\circ$

Малый размер фотоприемника для поля зрения $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (максимальный размер по диагонали $2\omega = 0.71^\circ$ или 71 мм) позволил разработать упрощенную систему светозащиты, состоящую из диафрагмы, установленной на оправе линзового корректора, и бленды вторичного зеркала.

Разработанная конструкция с запасом обеспечивает защиту от прямой засветки круглого поля зрения диаметром 71 мм, имеет меньшие габариты, чем классическая, а увеличение центрального экранирования пренебрежимо мало.

На рис. 46 приведен пример изображений одной и той же области неба размером $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, полученные без светозащиты (слева) и со светозащитой (справа).

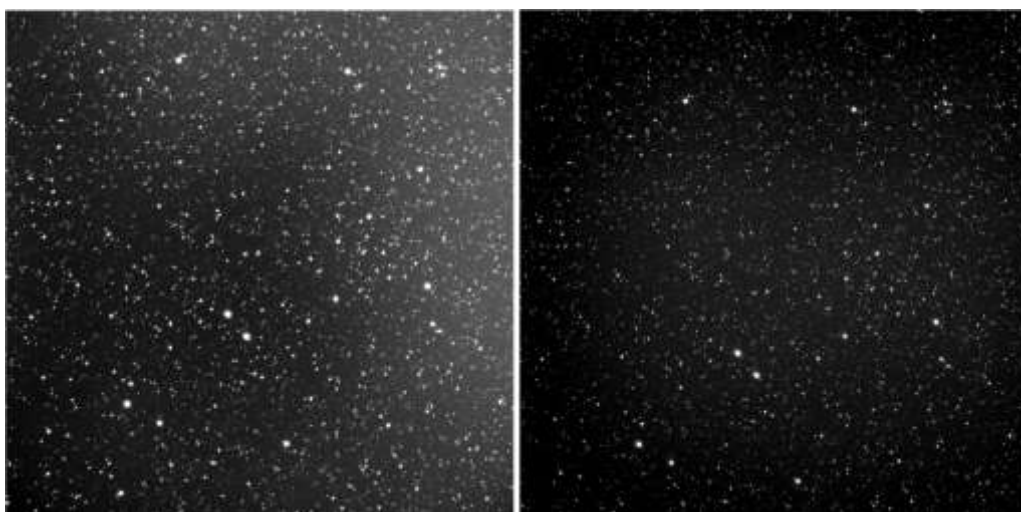


Рис. 46. Изображения области неба с размером $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, полученные без светозащиты (слева) и со светозащитой

После установки светозащиты проведенные измерения показали, что фоновая засветка снизилась в среднем в 2.5 раза. Это соответствует снижению фона неба примерно на 1 зв. вел.

2.6.1.2. Система светозащиты для поля зрения $1.3^\circ \times 2.7^\circ$

Оптическая система телескопа АЗТ-33ВМ оптимизирована для поля зрения $2\omega = 2.8^\circ$. Даже оптимальная система светозащиты для круглого поля зрения такого диаметра дает центральное экранирование входного зрачка до 28.6 % по площади. Использование прямоугольного фотоприемника размером 124×260 мм (соответствующее поле зрения $1.3^\circ \times 2.7^\circ$) позволяет значительно уменьшить экранирование. Была разработана система светозащиты, показанная (рис. 47), в которой край светозащитной трубки центрального отверстия главного зеркала и бленды на вторичном зеркале имеют лепестковую форму, которая дает заметный выигрыш в экранировании и, следовательно, улучшенную частотно-контрастную характеристику и даже выигрыш по проникающей способности.

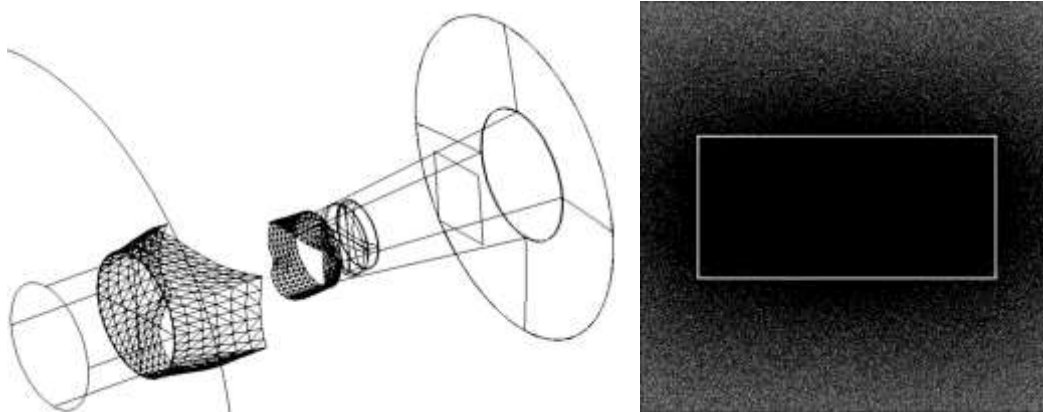


Рис. 47. Модель системы светозащиты телескопа АЗТ-33ВМ для поля зрения $1.3^\circ \times 2.7^\circ$ (слева); результат расчета прямой засветки фокальной плоскости в программе ZEMAX, белым прямоугольником показан контур фотоприемника

2.6.2. Обзорные наблюдения околоземного космического пространства в оптическом диапазоне

2.6.2.1. Методика наблюдений

Исходя из имеющихся возможностей, была выбрана следующая методика, которая с небольшими вариациями применяется в различных обзорных наблюдениях ГСО [2, 3].

1. Измерения производились с постоянной экспозицией 10 с без сопровождения телескопом, т. е. при постоянном часовом угле НА.

2. Измерялась область ГСО вблизи противосолнечной точки и вне тени Земли для получения максимального блеска объектов вблизи нулевого фазового угла.

3. Выбирались произвольные области вблизи земного экватора (для широты обсерватории соответствует углу склонения $DEC \approx -7.5^\circ$).

4. Измерения выполнялись в автоматическом режиме, обработка полученных кадров проводилась либо параллельно без прерывания измерений, либо после окончания измерений.

Общая схема обзорных наблюдений показана на рис. 48. На фиксированном часовом угле НА измерялась полоса из двух соседних по склонению DEC полей зрения. Всего производилось от 2 до 7 повторных измерений этих двух полей, после чего телескоп сдвигался по часовому углу на размер поля и цикл измерений производился для следующего фиксированного значения НА.

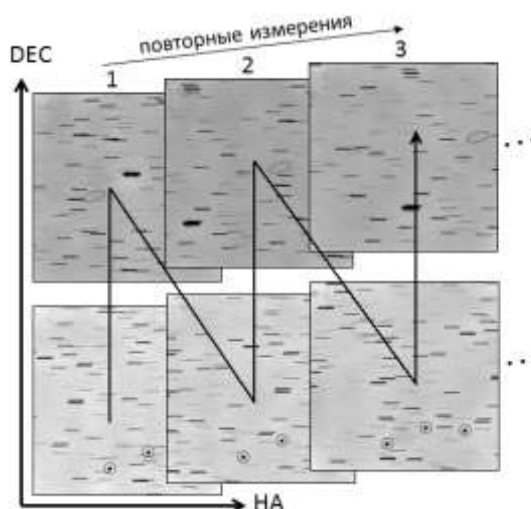


Рис. 48. Схема обзорных наблюдений; горизонтальные штрихи на кадрах – следы звезд, оvals и кружками отмечены обнаруженные космические объекты

2.6.2.2. Определение орбит объектов КМ

Сессия наблюдений проводилась с декабря 2016 по март 2017 г. в течение ~40 ночей. Обнаруженный в процессе обзора объект при помощи специальной программы помечался на кадре, и осуществлялась его быстрая идентификация (сравнение с каталогом). В случае подозрения на обнаружение некаталогизированного объекта этот объект брался на сопровождение телескопом, для чего необходимо, как минимум, два измерения. Далее объект измерялся на сопровождении, в процессе измерений (особенно в начальный период) скорость сопровождения корректировалась. Полученные измерения обрабатывались и рассчитывались эфемериды для последующих измерений. Для уточнения орбиты измерения объекта проводились в ту же и в последующие ночи.

Всего за вторую сессию наблюдений было обнаружено 55 некаталогизированных объектов, для которых определены их первичные орбиты, что позволило планировать последующие наблюдения. Некоторые из этих объектов были потеряны после их обнаружения. Для 29 объектов удалось определить достаточно достоверные орбиты по измерениям не менее трех ночей.

Результаты определения орбит для 29 некаталогизированных объектов показаны на рис. 49.

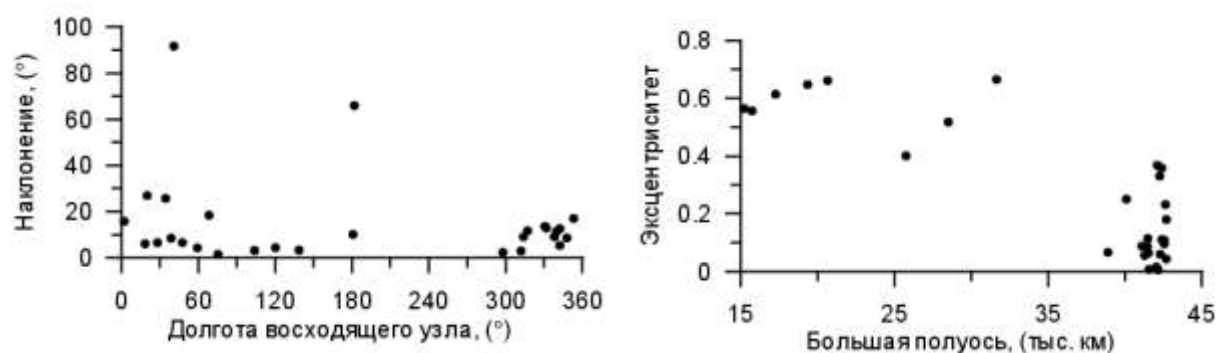


Рис. 49. Результаты определения орбит для 29 обнаруженных объектов в координатах наклонение — долгота восходящего узла (слева) и в координатах большая полуось — эксцентриситет

Всего было обнаружено 18 объектов на геосинхронных орбитах ($e < 0.25$, $a > 36000$ км, $i < 25^\circ$) и 11 объектов на высокоэллиптических орбитах.

Для всех объектов было определено отношение площади к массе (ОПМ). Полученные результаты показаны на рис. 50.

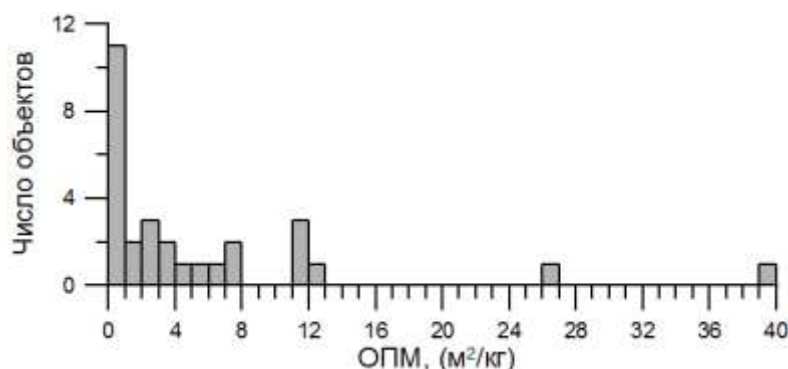


Рис. 50. Отношение площади к массе, определенное для обнаруженных объектов

Величины ОПМ находятся в широком диапазоне значений вплоть до $40 \text{ m}^2/\text{kg}$. Значительное число объектов (18 из 29) характеризуются высокими показателями ОПМ $> 1.0 \text{ m}^2/\text{kg}$ и представляют особый интерес с точки зрения эволюции параметров движения, обусловленной световым давлением.

2.6.2.3. Сравнение с известными разрушениями КА

Известно, что в результате разрушений КА обычно образуется группа космических объектов с близкими параметрами орбит. Полученные орбиты для 29 обнаруженных объектов были сравнены с известными орбитами разрушенных КА в области ГСО. Как оказалось, среди измеренных объектов один объект (внутренний номер № 70010) имеет параметры, близкие орбите родительского тела КА «Экран-2» (№ 10365 в каталоге NORAD), который подвергся разрушению в июне 1978 г. В табл. 7 приведены параметры орбит и величины блеска известных фрагментов разрушения КА «Экран-2» и вновь обнаруженного объекта.

Таблица 7. Параметры орбит фрагментов разрушения КА «Экран-2»

Фрагменты разрушения КА «Экран-2»	№ объекта NORAD	ДВУ, °	i , °	a , км	e	Период, мин	Средний блеск, зв. вел.
Родительское тело	10365	317.8	11.9	42158	0.00306	1435.6	12.6
	11581	317.5	11.8	42159	0.00147	1435.7	13.3
	12996	317.9	11.9	42227	0.00152	1439.1	14.3
	29014	317.5	11.8	42211	0.00180	1438.4	14.1
Обнаруженный объект (внутренний номер 70010)		317.8	11.9	42149	0.00586	1435.0	18.4

Следует отметить, что долгота восходящего узла, а также наклонение орбиты обнаруженного фрагмента очень хорошо совпадают с соответствующими параметрами родительского тела «Экран-2». Параметр ОПМ для нового фрагмента составил $0.25 \text{ м}^2/\text{кг}$.

2.6.3. Список использованных источников

1. Денисенко С.А., Камус С.Ф., Пименов Ю.Д., Тергоев В.И., Папушев П.Г. Светосильный широкоугольный телескоп АЗТ-33ВМ // Оптический журнал. 2009. Т. 79, № 9. С. 48–51.
2. Schildknecht T. Optical surveys for space debris // Astron. Astrophys. Rev. 2007. V. 14. P. 41–111.
3. Seitzer P., Smith R., Africano J., Jorgensen K., Stansbery E., Monet D. Modest observations of space debris at geosynchronous orbit // Adv. Space Res. 2004. V. 34, is. 5. P. 1139–1142.

2.7. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей и космические лучи в гелиосферных процессах по наземным и стратосферным наблюдениям

2.7.1. Анализ форбуш-эффекта в марте 2015 г.

2.7.1.1. Спектры вариаций и анизотропия КЛ

Возмущения СВ за счет процессов в области хромосферных вспышек на Солнце, сопровождающиеся, в частности, корональными выбросами массы (КВМ), воздействуют на проникающие в гелиосферу потоки галактических КЛ и приводят к спорадическим вариациям интенсивности КЛ. К таким вариациям относятся форбуш-эффекты (изменения плотности и анизотропии КЛ в крупномасштабных возмущениях СВ [2]. Эти явления до-

статочно сложные, нуждающиеся в комплексном подходе и до настоящего времени вопрос их полного понимания остается открытым.

Исследован форбуш-эффект, наблюдавшийся 15–24 марта 2015 г. на фоне сильной геомагнитной бури.

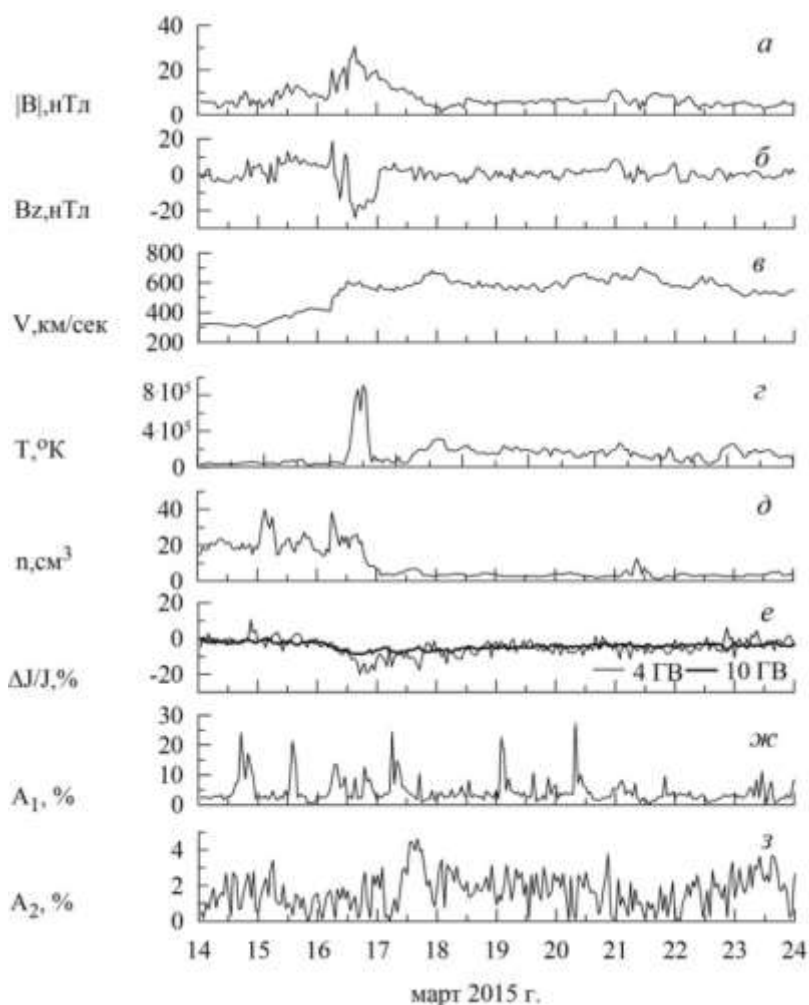


Рис. 51. Модуль ММП, B_z -компонента, скорость, температура и плотность СВ (а–д); вариации изотропной составляющей интенсивности первичных КЛ с жесткостью 4 ГВ (тонкая кривая) и 10 ГВ (толстая кривая) (е); амплитуды первой A_1 и второй A_2 гармоник питч-углового распределения КЛ с жесткостью 4 ГВ (ж, з)

Отсутствие двунаправленной анизотропии КЛ в событии 14–25 марта 2017 г свидетельствует о том, что в этот период в СВ не сформировалась петлеобразная структура ММП. На рис. 52 представлены жесткостные спектры амплитуд вариаций первичных КЛ в отдельные моменты развития исследуемых форбуш-понижений. Исследована динамика жесткостного спектра вариаций КЛ на разных фазах развития форбуш-понижения. Изменения интенсивности КЛ во время форбуш-понижения были разделены на три фазы: спад — интервал от начала уменьшения интенсивности КЛ до ее минимального значения; максимальная модуляция — интервал от момента минимального значения интенсивности до начала ее возрастания; восстановление — интервал, в течение которого темп счета растет до исходного уровня. Видно, что жесткостные спектры амплитуд вариаций для форбуш-понижения в марте 2015 г. нельзя описать степенной функцией жесткости в жесткостном диапазоне ~2–50 ГВ. Аппроксимация жесткостного спектра степенной функцией жесткости частиц возможна лишь при жесткостях выше ~10 ГВ.

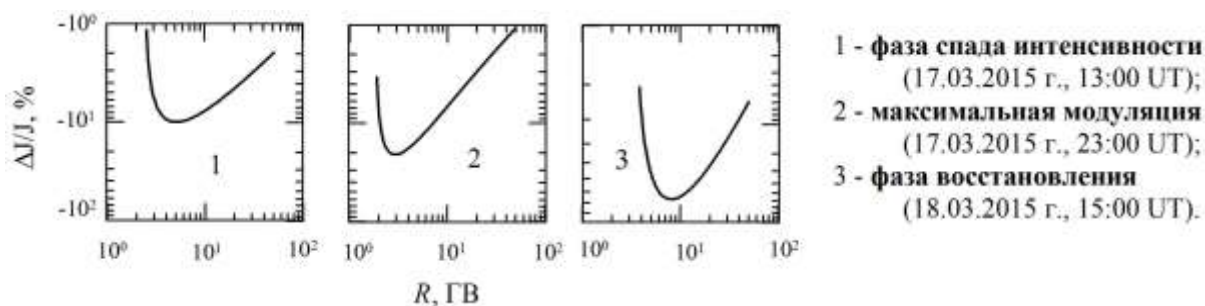


Рис. 52. Жесткостные спектры вариаций первичных КЛ на разных фазах развития исследуемых форбуш-понижений в марте 2015 г.

В табл. 8. приведены средние значения показателя степени γ при аппроксимации жесткостных спектров вариаций степенной функцией жесткости частиц в диапазоне жесткостей 10–50 ГВ на разных стадиях развития событий.

Таблица 8. Средние значения показателя степени γ для форбуш-эффекта в марте 2015 г. при аппроксимации жесткостных спектров вариаций степенной функцией жесткости частиц в диапазоне жесткостей 10–50 ГВ

Дата события	Фаза развития форбуш-эффекта		
	Спад	Максимальная модуляция	Восстановление
17.03–24.03.2015 г.	–0.86	–1.14	–0.74

Видно, что для жесткостных спектров вариаций КЛ в интервале жесткостей от 10–50 ГВ для форбуш-понижения в марте 2015 г. на фазе максимальной модуляции показатель спектра больше, чем на фазах спада и восстановления интенсивности КЛ. Наблюдается смягчение спектра в минимуме форбуш-понижений, что согласуется с результатами, полученными нами ранее [3]. Отметим, что наличие мягкого спектра в максимальной модуляции форбуш-эффекта можно отнести к закономерности, однако это заключение противоречит выводам, полученным в работе [4]. Такое расхождение в оценках объясняется тем, что авторы работы [4] ошибочно представляют спектр степенной функцией в широком диапазоне энергий жесткостей >1 ГВ.

На рис. 53 представлены относительные изменения интенсивности КЛ для частиц с жесткостями 4 ГВ в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат на разных фазах развития исследуемых форбуш-понижений (спад интенсивности, максимальная модуляция и восстановление интенсивности). Видно, что первая гармоника доминирует на фазах спада и максимальной модуляции КЛ мартовского форбуш-понижения. Небольшая двунаправленная анизотропия отмечена только на фазе восстановления форбуш-понижения в марте.

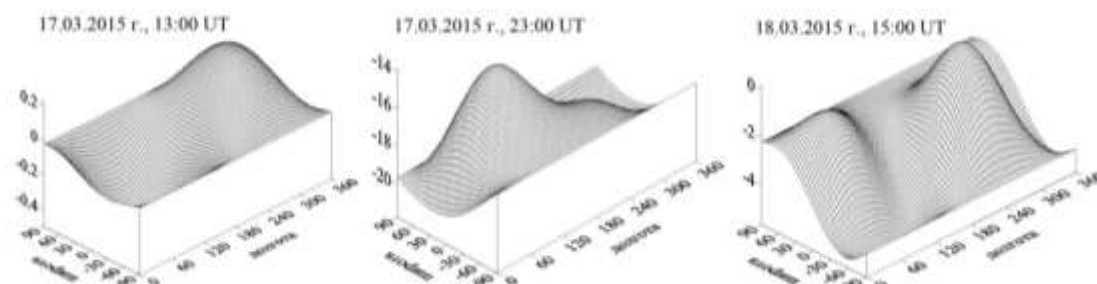


Рис. 53. Относительные изменения интенсивности КЛ для частиц с жесткостями 4 ГВ в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат на разных фазах развития исследуемых форбуш-понижений

Отсутствие двунаправленной анизотропии КЛ в рамках модели модуляции КЛ регулярными полями гелиосферы может быть объяснено тем, что в межпланетной среде не сформировалась петлеобразная структура ММП, являющаяся магнитной ловушкой.

2.7.1.2. Магнитосферные токовые системы на разных фазах развития бури

На рис. 54 представлены амплитуды вариаций интенсивности КЛ и временной ход изменений ЖГО в Иркутске (ΔR_c при ЖГО $R_c=3.66$ ГВ) (сплошная линия) совместно с Dst -индексом (штриховая линия) для событий в марте 2015 г. Видно удовлетворительное соответствие временных ходов ΔR_c и Dst для периода 16–22 марта 2015 г. с коэффициентом корреляции ~ 0.75 .

На рис. 55–57 представлены зависимости изменений ЖГО от жесткости геомагнитного обрезания для разных стадий развития магнитной бури в марте 2015 г., рассчитанных по данным наблюдений КЛ на мировой сети станций (сплошная линия), а также результаты расчета изменений ЖГО по осесимметричной модели ограниченной магнитосферы с кольцевым током [6] (штриховая линия). На отдельных панелях показаны даты и мировое время, для этих зависимостей, а также параметры (r_c — радиус кольцевого тока, r_m — радиус магнитосферы и рассчитанный Dst_{cal} -индекс) токовых систем в модели ограниченной магнитосферы с кольцевым током, при которых результаты расчетов по данной модели наиболее близки результатам расчетов изменений ЖГО по данным мировой сети станций КЛ; приведены также наблюдаемые значения Dst -индекса.

Видно, что при этих параметрах токовых систем изменения ЖГО, рассчитанные по данным наблюдений КЛ на мировой сети станций и по модели ограниченной магнитосферы с кольцевым током, в большинстве случаев удовлетворительно согласуются за исключением некоторых периодов главной фазы и близких к ней периодов приведенных магнитных бурь. Рассчитанные и наблюдаемые Dst -индексы отличаются друг от друга от нескольких до нескольких десятков нТл. Средние радиусы кольцевого тока в единицах радиуса Земли в 5–7 примерах представлены в табл. 9.

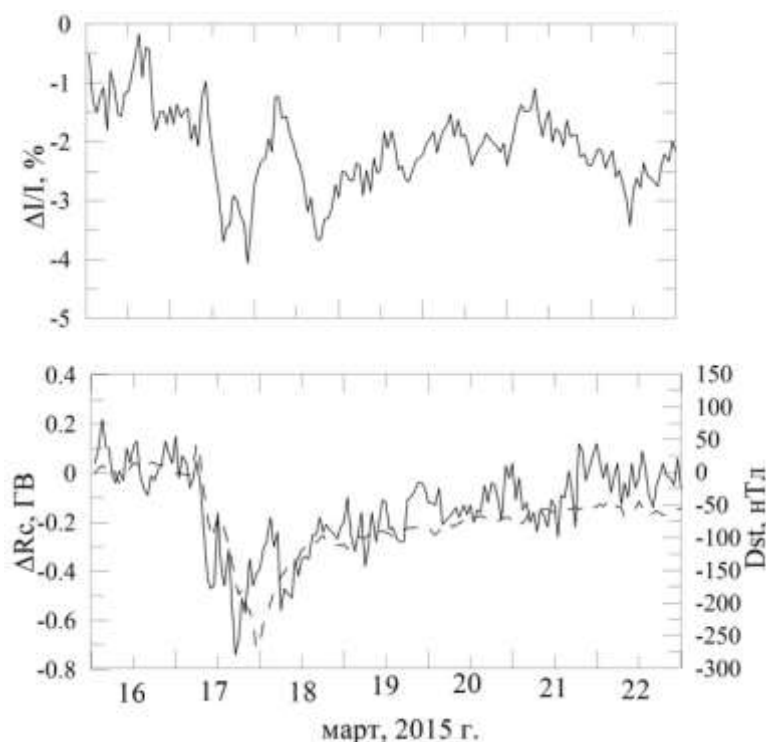


Рис. 54. Амплитуды вариаций интенсивности КЛ ($\Delta I/I$) (верхняя панель) и временной ход изменений ЖГО (ΔR_c) в Иркутске ($R_c=3.66$ ГВ) (сплошная линия) совместно с Dst -индексом (штриховая линия) (нижняя панель) для события в марте 2015 г.

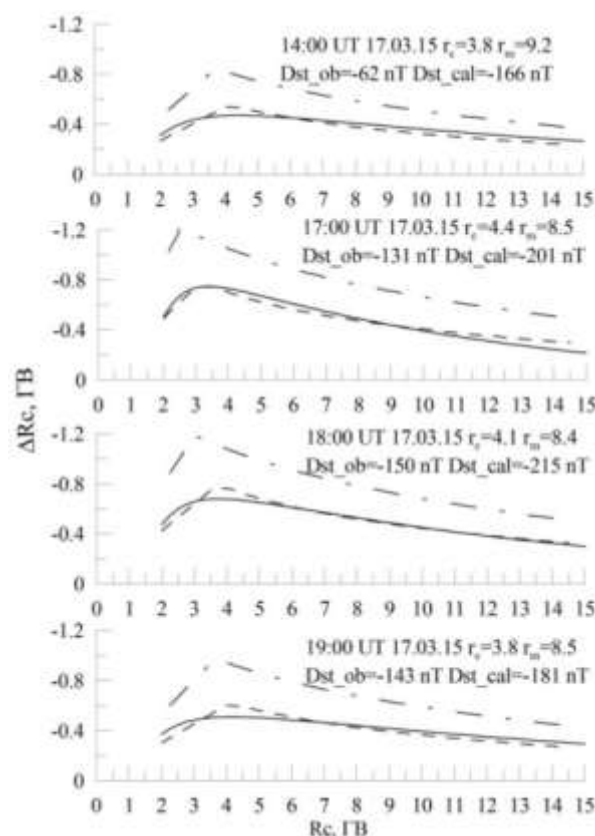


Рис. 55. Зависимость изменения ЖГО от ЖГО для начальной фазы геомагнитной бури в марте 2015 г. Сплошная линия — результаты, полученные по данным мировой сети станций КЛ методом СГС, штриховая линия — расчет по осесимметричной модели ограниченной магнитосферы с кольцевым током. Штрих-пунктирная линия — вклад в изменения ЖГО от кольцевого тока, рассчитанный по осесимметричной модели ограниченной магнитосферы.

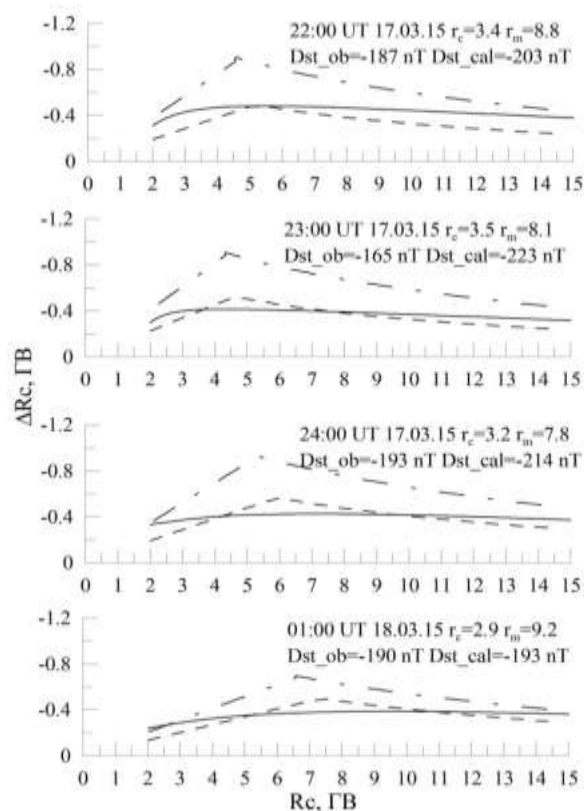


Рис. 56. То же, что на рис. 55, для главной фазы бури в марте 2015 г.

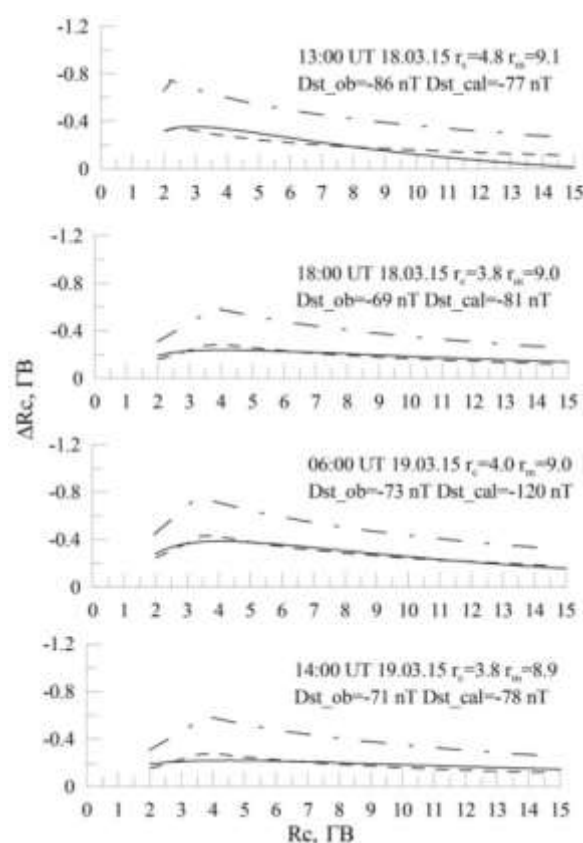


Рис. 57. То же, что на рис. 55, для фазы восстановления геомагнитной бури в марте 2015 г.

Таблица 9. Значения средних радиусов кольцевого тока (r_c) в единицах радиуса Земли и среднего расстояния до подсолнечной точки (r_m) в рамках осесимметричной модели ограниченной магнитосферы для разных фаз развития геомагнитных бурь.

Геомагнитная буря	Начальная фаза		Главная фаза		Фаза восстановления	
	r_c	r_m	r_c	r_m	r_c	r_m
март 2015 г.	~4.0	~8.6	~3.2	~8.5	~4.1	~9.0

Видно, что минимальные радиусы кольцевого тока наблюдаются в главной фазе геомагнитных бурь с последующим возрастанием на фазе восстановления, а расстояние до подсолнечной точки минимально на начальных фазах и в отдельные периоды главной фазы геомагнитного возмущения.

По параметрам токовых систем в рамках осесимметричной модели ограниченной магнитосферы Земли в периоды магнитных бурь в марте 2015 г. рассчитан вклад эффективного кольцевого тока в изменения ЖГО. На рис. 55–57 этот вклад представлен штрих-пунктирной линией. Вклад кольцевого тока в изменения ЖГО составляет не менее ~50–60 % на разных стадиях развития магнитной бури, а вклад в величину Dst -индекса — не менее 60–70 %.

2.7.2. Жесткости геомагнитного обрезания космических лучей в модели ограниченной магнитосферы с кольцевым током

Разработана аналитическая методика, позволяющая в рамках модели ограниченной магнитосферы с кольцевым током рассчитать жесткости геомагнитного обрезания КЛ.

В предлагаемой методике расчета ЖГО КЛ суммарное магнитное поле в околоземном пространстве — это сумма поля диполя Земли и поля двух сфер с разными радиусами, по поверхности которых в противоположных направлениях текут кольцевые токи с величинами, пропорциональными косинусу широты.

2.7.3. Изучение тонкой структуры лент свечения вспышек в связи с физическими процессами выделения энергии в солнечных вспышках

Выявлено, что вспышки на Солнце, которые сопровождались большими потоками частиц на орбите Земли (>10 МэВ), происходили преимущественно (>80 %) в комплексах активности. Обоснована гипотеза о том, что выход частиц в гелиосферу обусловлен существованием долгоживущих магнитных каналов, позволяющих обеспечить перенос ускоренных вспышкой частиц в пограничную область открытой магнитной структуры корональных дыр.

A histogram showing the frequency distribution of the number of intervals. The x-axis is labeled 'Номер интервала' (Interval Number) and ranges from 1 to 9. The y-axis is labeled '%' (Percentage) and ranges from 0 to 30. The bars represent the frequency of each interval number. A smooth curve is overlaid on the bars, representing a normal distribution fit.

Номер интервала	Частота (%)
1	10
2	28
3	23
4	18
5	15
6	3
7	0
8	0
9	2

58

Энергетические спектры ионов различных элементов, в том числе железа и кислорода, были получены на космических аппаратах ACE, STEREO и Wind в течение минимума 23-го цикла солнечной активности. Показано, что источниками энергичных частиц различной природы, определяющих физические условия в период минимума, являются микро-вспышки на Солнце. Провал в отношении спектров Fe/O в диапазоне энергий 2–30 МэВ/н объясняется влиянием аномальной компоненты КЛ.

Показано, что энергетические спектры отношения ионов Fe/O в СВ от импульсных вспышек в диапазоне 0.2–13 МэВ/н отличаются от энергетических спектров ионов в событиях GLE (ground level enhancement) и в длительных вспышках (gradual large events) наличием максимума при энергии ~ 1.8 МэВ/н.

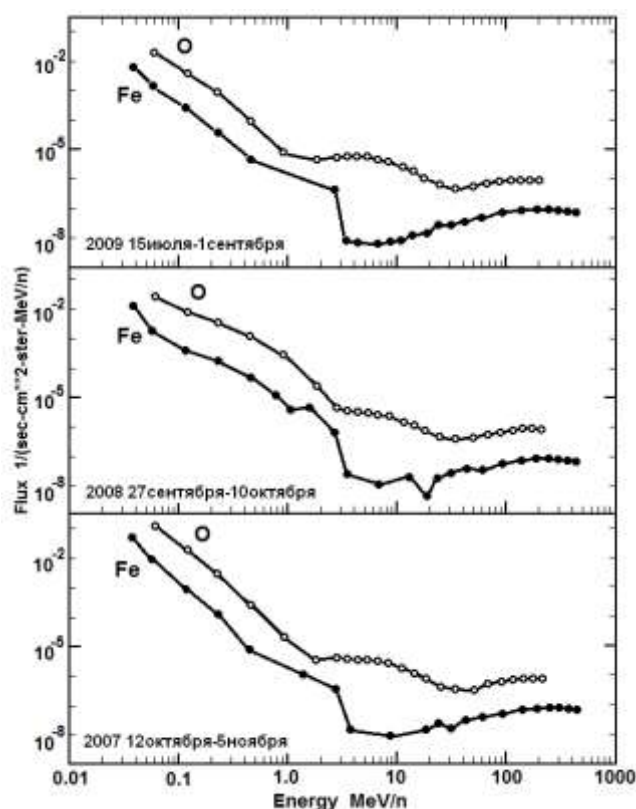


Рис. 60. Энергетические спектры ионов кислорода и железа в солнечном ветре во время отсутствия активных областей на Солнце

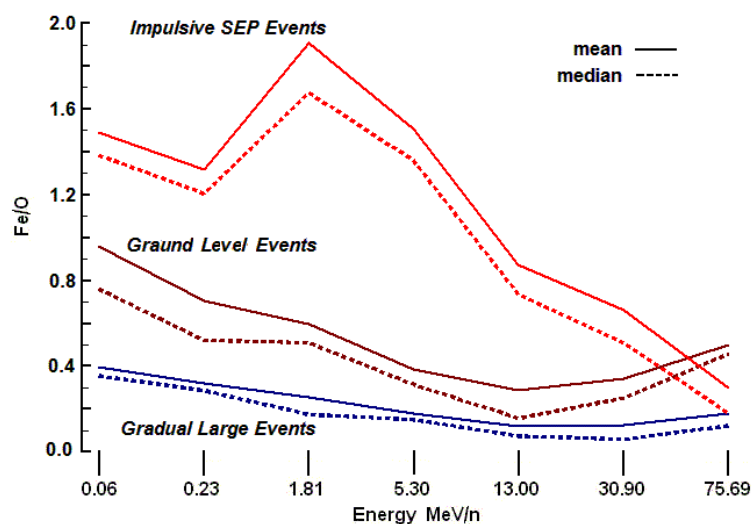


Рис. 61. Энергетические спектры отношения ионов кислорода и железа

2.7.4. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН

На трех станциях космических лучей (КЛ) Саянского спектрографа, а также на Норильской станции проводятся измерения интенсивности КЛ. Данные наблюдений КЛ и атмосферного давления с минутным и часовым интервалами накоплений представляются онлайн на сайте Иркутского научного центра (IP-адрес 84.237.21.4) в виде графиков и текстовых файлов, хранятся на ftp-сервере и в базе данных ИСЗФ СО РАН, обновляются в международной базе данных nmdb.eu, а также представлены в Мировом центре данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ).

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

2.7.5. Список использованных источников

1. Дворников В.М., Сдобнов В.Е., Сергеев А.В. Метод спектрографической глобальной съемки для изучения вариаций интенсивности космических лучей межпланетного и магнитосферного происхождения // Вариации космических лучей и исследования космоса. М.: ИЗМИРАН, 1986. С. 232–237.

2. Белов А.В., Ерошенко Е.А., Оленева В.А., Струминский А.Б., Янке В.Г. Чем обусловлены и с чем связаны форбуш-эффекты? // Изв. РАН. Сер. физ. 2001. Т. 65, № 3. С. 373–376.

3. Kravtsova M.V., Sdobnov V.E. Cosmic rays during great geomagnetic storms in cycle 23 of solar activity // Geomagnetism and Aeronomy. 2016. V. 56, N 2. P. 143–150.

4. Klyueva A.I., Belov A.V., Eroshenko E.A. Specific features of the rigidity spectrum of forrush effects // Geomagnetism and Aeronomy. 2017. T. 57, N 2. P. 177–189.

5. Wu Ch.-Ch., Liou K., Lepping R.P., Hutting L., Plunkett S., Howard R.A. and Socker D. The first super geomagnetic storm of solar cycle 24: The St. Patrick's day event (17 March 2015) // Earth, Planets and Space. 2016. V. 68. P. 151. DOI: 10.1186/s40623-016-0525-y.

6. Kichigin G.N., Sdobnov V.E. Rigidities of geomagnetic cutoff of cosmic rays in the model of bounded magnetosphere with a ring current // Geomagnetism and Aeronomy. 2017. V. 57. N 2. P. 149–153.

3. ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Научные исследования выполнялись в отделе физики околоземного космического пространства.

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.П. Потехин).

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

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

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

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 и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач».

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

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

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

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

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

3. Программа Президиума РАН № 15 «Природные катастрофы и адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики». Координатор — академик Н.П.Лаверов.

3.1. Проект «Исследование системы литосфера—атмосфера—ионосфера в экстремальных условиях». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. Н.П. Перевалова.

4. Программа Президиума РАН № 31 «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности. Фундаментальные исследования процессов горения и взрыва. Актуальные проблемы робототехники». Координаторы — акад. Ю.М. Михайлов, акад. В.А. Левин, акад. Ф.Л.Черноушко.

4.1. Проект «Создание сегмента мониторинга уровня ионосферных помех в Азиатском регионе России, связанных с естественными неоднородностями полярной ионосферы». Руководитель проекта — чл.-корр. РАН А.П. Потехин.

Выполнялись работы по следующим грантам Президента Российской Федерации.

- Ведущая научная школа НШ-6894.2016.5 «Экспериментальное и теоретическое исследование взаимосвязи динамических процессов в нижней и верхней атмосфере Земли». Руководитель проекта — акад. Г.А. Жеребцов.

- Грант Президента РФ МК-1097.2017.5 «Методы автоматической регистрации возмущений ионосферы, определения их параметров и источников по данным глобальной сети навигационных приемников». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. И.К. Едемский.

Выполнялись работы по гранту Российского научного фонда № 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.

Выполнялось 20 грантов РФФИ.

1. 15-05-05387-а «Развитие методов обработки данных Иркутского радара некогерентного рассеяния для исследования среднеширотной внешней ионосферы». Научный руководитель — академик Г.А. Жеребцов.

2. 15-05-02313-а «Экспериментальное исследование условий распространения внутренних гравитационных волн в верхней атмосфере Земли по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния». Научный руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Медведев.

3. 15-05-05561-а «Модель магнитосферных суббурь с новыми данными техники инверсии магнитограмм». Научный руководитель — д.ф.-м.н. В.В. Мишин.
4. 15-05-05227-а «Исследование механизмов генерации волновых возмущений в средней атмосфере и эффектов этих волн в ионосфере». Научный руководитель — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская.
5. 15-05-03946-а «Исследование статистических и динамических характеристик мелкомасштабных неоднородностей ионосферы по данным экспериментального комплекса ИСЗФ СО РАН». Научный руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.
6. 16-35-60018-мол-а-дк «Исследование комплексной структуры отклика ионосферы на события внезапных стратосферных потеплений в среднеширотном и арктическом регионах на основе данных навигационных систем GPS и ГЛОНАСС». Научный руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Полякова.
7. 16-32-00788-мол-а «Изучение эффекта доплера в слабостационарном радиоканале Земля-ионосфера с помощью метода нормальных волн». Научный руководитель — М.С. Пензин.
8. 16-35-00027-мол-а «Исследование отклика ионосферы на одновременное воздействие различных источников в нейтральной атмосфере». Научный руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Полякова.
9. 16-32-00051-мол-а «Методика определения ионосферных параметров по данным одиночных станций ГЛОНАСС/GPS». Научный руководитель — А.А. Мыльникова.
10. 16-55-53003-ГФЕН-а «Особенности реакции ионосферы Восточно-Азиатского региона на геомагнитные возмущения». Научный руководитель — акад. Г.А. Жеребцов.
11. 16-05-00254-а «Генерация азимутально-мелкомасштабных УНЧ-волн в земной магнитосфере высокоэнергичными частицами космической плазмы». Научный руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.
12. 16-05-00563-а «Исследование физических процессов формирования среднеширотных сияний в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях». Научный руководитель — д.ф.-м.н. А.В. Тащилин.
13. 16-05-00631-а «Влияние мелкомасштабной турбулентности солнечного ветра на состояние и волновую активность магнитосферно-ионосферной системы». Научный руководитель — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.
14. 16-05-01006-а «Исследование тонкой структуры коротковолнового рассеянного сигнала по данным когерентного декаметрового радара». Научный руководитель — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.
15. 16-05-01087-а «Исследование структуры и динамики зимней полярной стратосферы и связь ее циркуляции с гравитационными приливами». Научный руководитель — к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев.
16. 17-05-00492-а «Исследование быстрых оптических явлений в атмосфере Земли». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев.
17. 17-05-00192-а «Исследование взаимосвязи динамических процессов в нижней и верхней атмосфере Земли по данным спектрометрических и радиофизических наблюдений». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. И.В. Медведева.
18. 17-05-20306 «Проект организации Второго генерального симпозиума VarSITI (VarSITI-2017)». Руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Медведев.
19. 17-302-50013_мол_нр «Исследование структуры и динамики крупномасштабных возмущений в верхней атмосфере Земли, в частности в ионосфере, с помощью измерений в радио и оптическом диапазоне длин волн». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий.
20. 17-45-388072_p_a «Исследование быстрых изменений в ионосфере Прибайкальского региона и их связи с космическими и сейсмическими источниками». Руководитель проекта — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

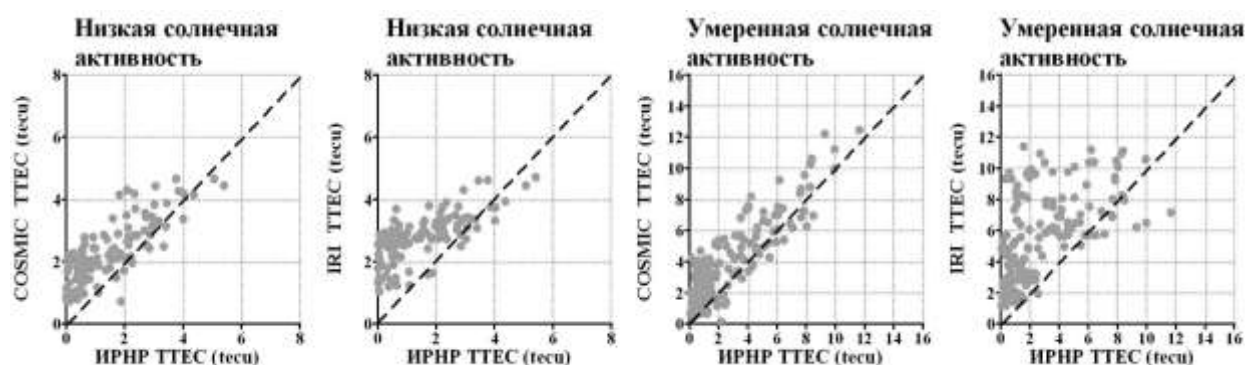
Выполнялись работы:

- Работы по укрупненному инвестиционному проекту «Национальный геофизический комплекс РАН». Научный руководитель — акад. Г.А. Жеребцов.
- Прикладные работы в рамках хозяйственных договоров.

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

3.1.1. Исследование электронной концентрации внешней ионосферы с помощью различных методов измерений и различных моделей

Исследование электронной концентрации внешней ионосферы с помощью различных методов измерений было осуществлено сопоставлением данных Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) и данных радиозатменных экспериментов COSMIC [1]. Длительные непрерывные измерения на ИРНР позволили осуществить сопоставление 337 профилей электронной концентрации, полученных почти одновременно радаром и спутником COSMIC/FORMOSAT3 вблизи места расположения радара. Сопоставление охватывало четыре сезона и два уровня солнечной активности (низкая и умеренная). Число случаев одновременных измерений было примерно в 10 раз больше по сравнению известными сравнениями данных РНР и спутника COSMIC/FORMOSAT3. В качестве характеристики внешней ионосферы было выбрано интегральное электронное содержание в диапазоне высот 300–600 км (TTEC) в единицах TECU. Сравнение (рис. 62) выявило наличие систематического расхождения: в среднем TTEC по данным ИРНР на 1 TECU меньше, чем по данным COSMIC/FORMOSAT3, при этом систематическое расхождение сравнимо со среднеквадратичной ошибкой. Необходимо отметить, что аналогичное сравнение характеристик внутренней ионосферы не выявило систематического расхождения. Сопоставление аналогичного набора данных ИРНР с прогнозом международной справочной модели IRI показало, что расхождение между инструментами приблизительно в два раза меньше, чем между данными ИРНР и IRI (IRI дает среднее завышение на 2 TECU и примерно такую же среднеквадратичную ошибку). Сравнение среднемесячных картин вариаций электронной концентрации, полученных по данным ИРНР и рассчитанных по моделям IRI и GSM TIR (физическая модель ионосферы), показало [2], что обе модели дают по сравнению с ИРНР завышенную оценку электронной концентрации во внешней ионосфере. Причины систематического расхождения на настоящий момент не ясны и, возможно, связаны с особенностями ионосферы над Восточносибирским регионом.



Сравнение интегрального электронного содержание в диапазоне высот 300-600 км (TTEC)

Рис. 62. Сравнение интегрального электронного содержание в диапазоне высот 300-600 км (TTEC) между ИРНР и COSMIC и между ИРНР и моделью IRI

3.1.2. Исследование взаимодействия внутренних гравитационных волн с нейтральным ветром на основе полученных на независимых инструментах статистик перемещающихся ионосферных возмущений

Для исследования взаимодействия внутренних гравитационных волн (ВГВ) с нейтральным ветром были использованы представительные статистики характеристик перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ). Статистики были получены на независимых инструментах с использованием независимых методов определения характеристик ПИВ [3]. Первый инструмент представляет собой измерительный комплекс, состоящий из радара некогерентного рассеяния и ионозонда DPS-4 (RHP-DPS). Комплекс позволяет измерять полный (трехмерный) вектор скорости ПИВ. Второй инструмент представляет собой Екатеринбургский когерентный КВ-радар. Инструмент позволяет измерять двухмерный вектор скорости ПИВ (азимут и модуль горизонтальной скорости). Анализ совместного азимутального распределения количества ПИВ и значений модуля горизонтальной скорости (рис. 63) показал, что большинство ПИВ наблюдаются на азимутах, где горизонтальная скорость минимальна, а меньшинство ПИВ — на азимутах, где горизонтальная скорость максимальна. Такой характер азимутального распределения хорошо согласуется с гипотезой ветровой фильтрации. Гипотеза заключается в том, что наиболее благоприятным условием распространения ВГВ является распространение против ветра (в этих случаях увеличивается амплитуда ВГВ и уменьшается горизонтальная скорость), а наименее благоприятным — распространение по ветру (в этих случаях уменьшается амплитуда ВГВ и увеличивается горизонтальная скорость). Основные свойства азимутального распределения имеют общие особенности для обоих инструментов, однако в случае RHP-DPS распределение носит более контрастный характер. Анализ азимутально-суточного распределения количества ПИВ с наложенными проекциями скорости ветра, рассчитанной по модели HWM, показал, что большая часть ПИВ наблюдалась в областях отрицательных проекций, что и ожидалось из гипотезы ветровой фильтрации. По сравнению с распределением RHP-DPS в случае КВ-радара имеет место большее количество ПИВ в областях положительных проекций. Таким образом, основным выводом проведенных исследований является подтверждение гипотезы ветровой фильтрации на основе анализа статистик характеристик ПИВ, полученных на независимых инструментах с использованием независимых методов определения характеристик ПИВ. Дополнительным является вывод о том, что статистика, полученная по данным RHP-DPS, лучше согласуется с механизмом ветровой фильтрации. Основной причиной этого различия является то, что в случае RHP-DPS (в отличие от случая КВ-радара) измеряется полный вектор скорости и имеется возможность разделения ПИВ, обусловленных ВГВ, от ПИВ другой природы.

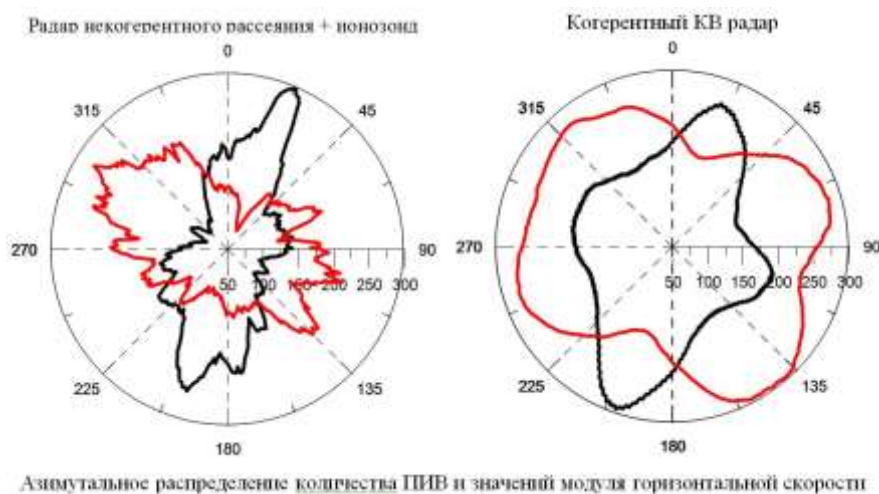


Рис. 63. Совместное азимутальное распределение количества ПИВ (черный) и значений модуля горизонтальной скорости (красный) для комплекса RHP-DPS (слева) и когерентного КВ- радара

3.1.3. Исследование эффекта магнитного зенита в различных диапазонах электромагнитных волн

Эффект магнитного зенита представляет собой усиление интенсивности ионосферных мерцаний радиосигнала при уменьшении угла между лучом источник-приемник и направлением вектора геомагнитного поля. Считается, что причиной возникновения этого эффекта является вытянутость неоднородностей ионосферной плазмы вдоль направления геомагнитного поля. Исследование эффекта магнитного зенита в различных диапазонах электромагнитных волн было проведено с использованием индекса амплитудных мерцаний S4, рассчитанного по наблюдениям радиоисточника Лебедь-А на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР) в метровом диапазоне (частота ~150 МГц), и индексов мерцаний S4 и фазовых флуктуаций σ_ϕ , рассчитанных по наблюдениям навигационных сигналов на приемнике Novatel GPStation-6 в дециметровом диапазоне (частота ~1200 МГц) [4]. Анализ зависимостей индексов мерцаний от угла между направлением на источник и геомагнитным полем (рис. 64) показал: (1) наличие эффекта магнитного зенита для индекса S4 в метровом диапазоне и индекса σ_ϕ в дециметровом диапазоне и (2) отсутствие эффекта магнитного зенита для индекса S4 в дециметровом диапазоне. Полученный результат может объясняться тем, что поперечный размер неоднородностей порядка либо меньше зоны Френеля для метрового диапазона (~0.8 км) и больше зоны Френеля для дециметрового диапазона (~0.3 км). В этом случае флуктуации амплитуды для метрового диапазона и фазы для дециметрового диапазона достаточны для выявления эффекта магнитного зенита, тогда как флуктуации амплитуды для дециметрового диапазона слишком малы и обусловлены в основном техногенными помехами, а не ионосферными эффектами.

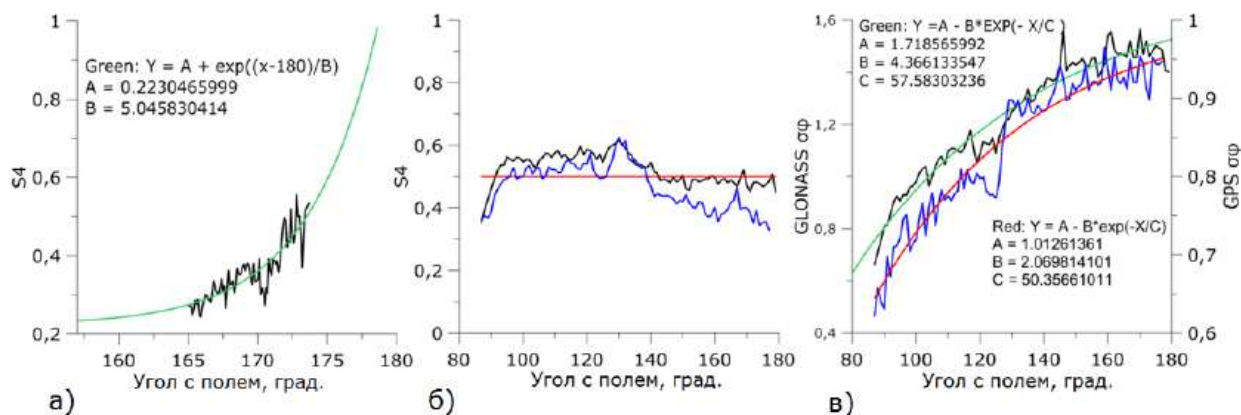


Рис. 64. Зависимости от угла между лучом зрения на источник и вектором магнитного поля для индекса S4 в метровом диапазоне (а); индекса S4 в дециметровом диапазоне (б); индекса σ_ϕ в дециметровом диапазоне (в) для GPS (синие линии) и GLONASS (черные линии)

3.1.4. Модернизация Иркутского радара некогерентного рассеяния

В ходе выполнения и по результатам космических экспериментов «Плазма—Прогресс» и «Радар—Прогресс» осуществлена модернизация управляющего и приемно-регистрающего комплекса (УПРК) Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР). Модернизация позволила повысить точность определения траекторных параметров низкоорбитальных космических аппаратов и расширила возможности УПРК для проведения будущих измерений [5]. После модернизации появилась возможность использования ЛЧМ-сигналов, посредством которых удалось существенно повысить точность измерений дальности и углов: при отношении сигнал/шум 10, точность по дальности составляет 100–300 м, по углам — 1–5 угл. мин. Прежняя точность измерений при том же отношении сигнал/шум составляла 1.5 км по дальности и 30–60 угл. мин по углам (рис. 65). В настоящее время модернизированный УПРК определяет траекторные параметры в режиме реального

времени, тогда как до модернизации процесс обработки занимал длительное время и проходил в несколько этапов. Достигнутая точность измерения траекторных параметров в режиме реального времени позволила решить задачу наведения телескопа, расположенного в Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН, на низкоорбитальные космические аппараты по данным ИРНР. Использование современной элементной базы привело к унификации всех блоков УПРК и открыло перспективы дальнейшей модернизации ИРНР — уникальной научной установки национальной значимости № 01-28, входящей во всемирную сеть радаров подобного типа.

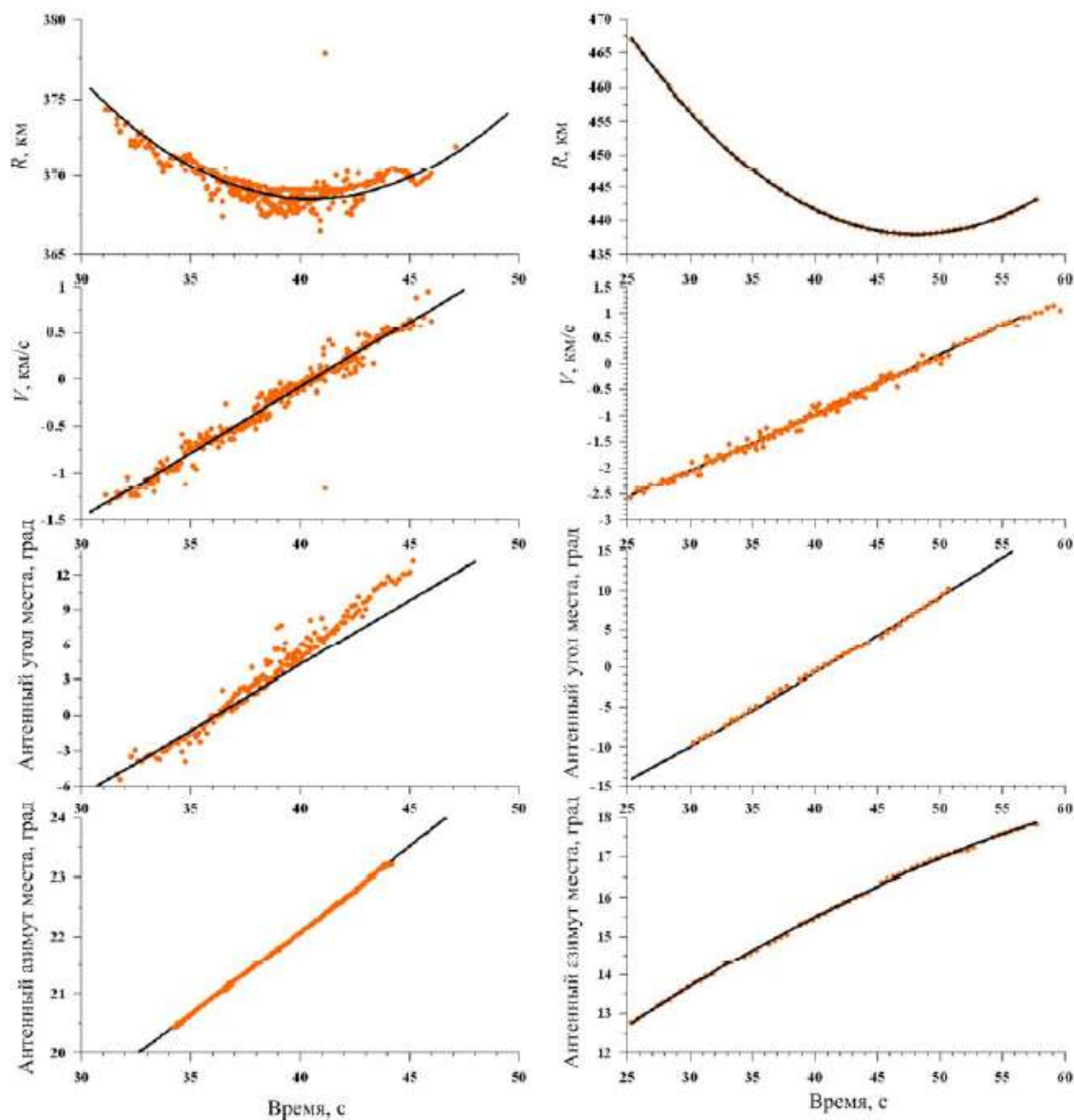


Рис. 65. Результаты измерений ТГК «Прогресс» (сверху вниз): дальность R , скорость V , антенный угол места, азимут 19 сентября 2007 г. (слева), 26 июля 2014 г. (справа). Оранжевый цвет — измеренные данные, черный цвет — расчетные данные

3.1.5. Теоретическое исследование уравнения радиолокации метода некогерентного рассеяния с учетом рефракции и эффекта Фарадея для ультракоротковолнового диапазона

Проведено теоретическое исследование уравнения радиолокации метода некогерентного рассеяния для ультракоротких радиоволн с учетом эффекта Фарадея и рефракции [6]. Показано, что в результате рассеяния электромагнитного излучения в ионосфере эффекты рефракции и фарадеевского вращения существенно влияют на спектр принимае-

мого радаром сигнала некогерентного рассеяния (НР). Существенную роль в формировании спектра НР вносит относительно слабая, но широкополосная электронная компонента, которая зависит от массы преобладающих ионов и преобладает во внешней ионосфере. По данным ИРНР установлено, что широкополосное электронное рассеяние уверенно регистрируется в ионосфере на высотах 3000 км и более (рис. 66), что может быть использовано для расширения диагностических возможностей РНР.

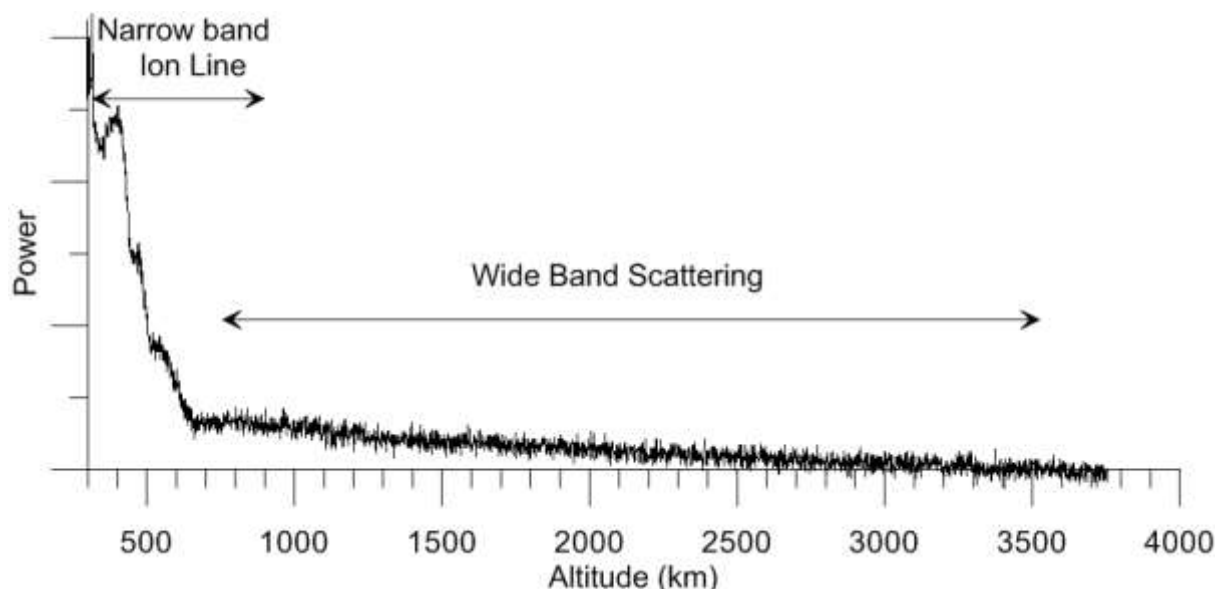


Рис. 66. Профиль мощности рассеяния ИРНР в эксперименте с большой дальностью зондирования 20 марта 2016 г.

3.1.6. Абсолютные измерения мощности на Иркутском радаре некогерентного рассеяния

Для проведения абсолютных измерений мощности принимаемого сигнала на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР) в качестве калибровочного сигнала был выбран сигнал космического радиоизлучения. Модель Global Sky Model (GSM), задающая распределения яркостной температуры по небесной сфере, дает возможность оценки мощности космического радиоизлучения. Преимуществом такого подхода к калибровке является полная доступность — космическое радиоизлучение всегда присутствует в принятом сигнале. С помощью модели GSM и известной диаграммы направленности ИРНР было получено частотно-временное распределение мощности шума на входе приемника радара. Описанная методика была использована и для пассивных, и для активных наблюдений на ИРНР. В случае пассивного режима наблюдений методика позволила определить амплитудно-частотную характеристику приемной системы радара и открыла перспективы получения значений абсолютного потока мощности солнечного радиоизлучения. В случае активного режима наблюдений (рис. 67) было проведено сравнение абсолютных измерений мощности сигнала некогерентного рассеяния $P_{\text{пр}}$ с теоретическими оценками мощности на основе радиолокационного уравнения $P_{\text{нр}}$. Для летнего периода сравнение выявило наличие дополнительных неучтенных потерь в приеме-передающем тракте радара ($P_{\text{пр}} < P_{\text{нр}}$). Для весеннего периода сравнение показало наличие неучтенных потерь и большую вариативность отношения $P_{\text{пр}}/P_{\text{нр}}$.

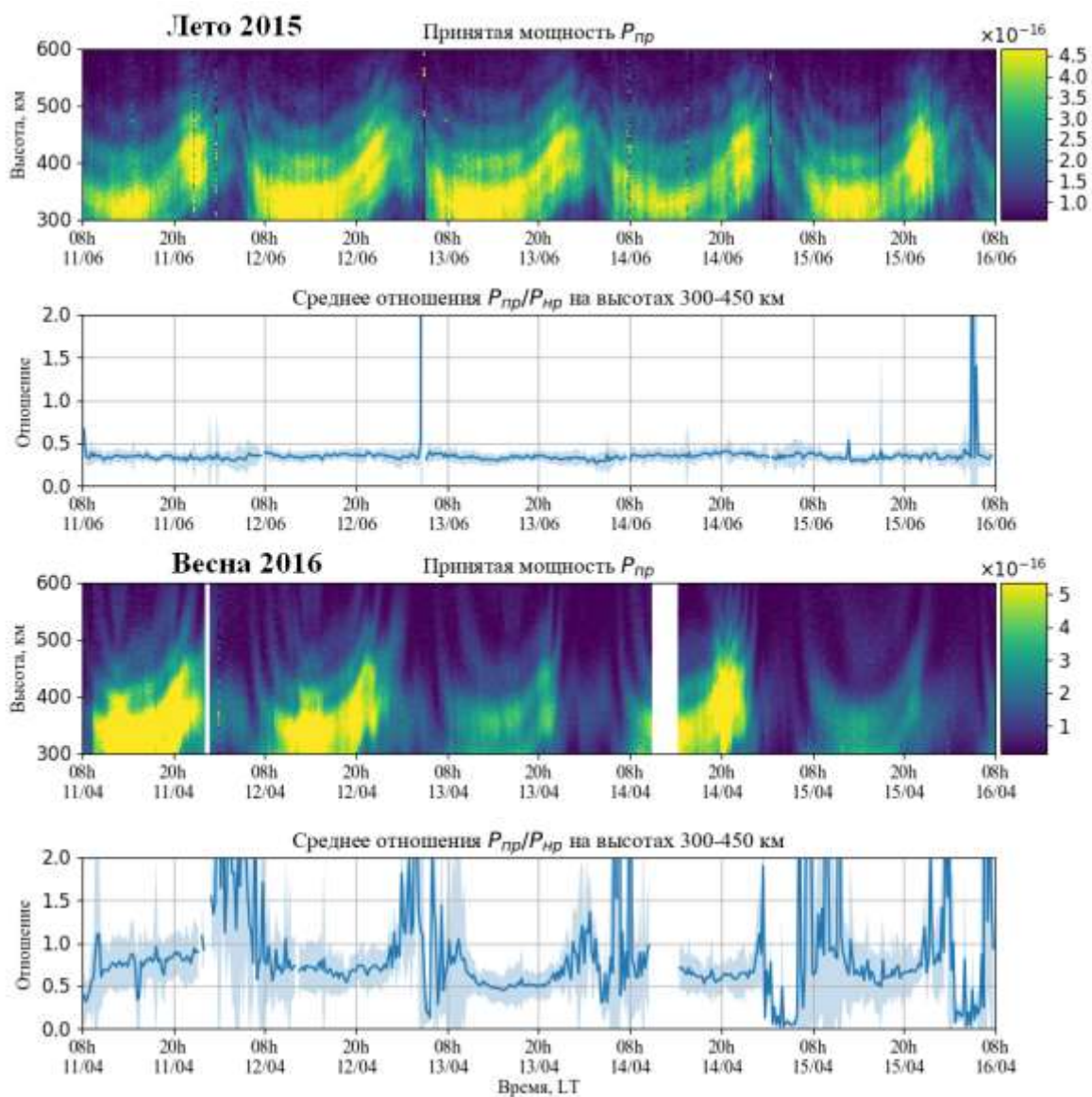


Рис. 67. Сравнение наблюдаемой мощности и мощности некогерентного рассеяния для летнего и осеннего периодов наблюдений

3.1.7. Разработка метода определения температур ионосферной плазмы с учетом эффекта Фарадея для Иркутского радара некогерентного рассеяния

Проблема корректного определения ионных и электронных температур ионосферной плазмы является актуальной задачей для Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР). Существующие алгоритмы восстановления температур по данным ИРНР не учитывают многие конструктивные особенности радара, что может приводить к возникновению значительных систематических погрешностей. Разработанные приближения для решения обратной задачи позволяют корректно восстанавливать ионные и электронные температуры по данным ИРНР в условиях высокой концентрации и высокого отношения сигнал/шум. Усовершенствованная модель рассеяния сигнала позволяет проводить поиск и оценку погрешностей определения температур ионосферной плазмы. В результате анализа обработанных данных были предложены гипотезы существования нескольких систематических погрешностей, не учитываемых ранее: 1) некорректность учета весовой функция вследствие неопределенности профиля мощности широкополосного сигнала; 2) влияние сильного градиента температур; 3) существование значительной когерентной составляющей сигнала обратного рассеяния для диапазона длин волн ИРНР (рис. 68).

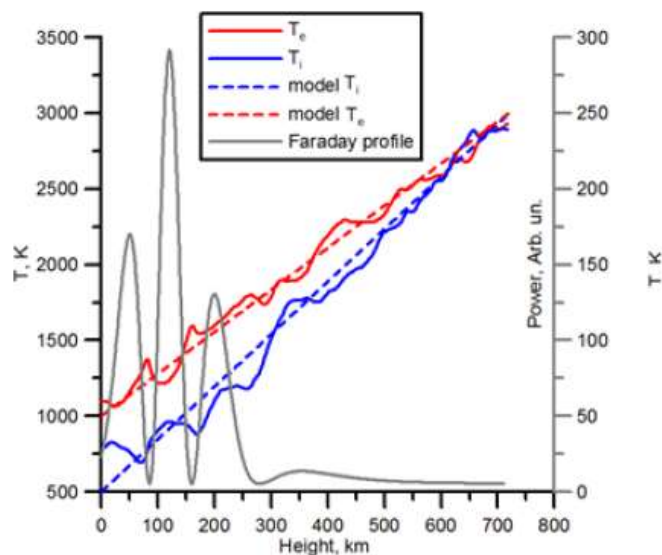


Рис. 68. Сравнение заданного и полученного профилей температур для одной статистической реализации модели, а также заданный профиль мощности некогерентного рассеяния

3.1.8. Развитие методов определения абсолютного полного электронного содержания

Разработан новый подход, позволяющий проводить оценку абсолютного вертикального и наклонного полного электронного содержания (ПЭС) на основе одночастотных совместных измерений фазового и группового запаздывания сигнала GPS/ГЛОНАСС [7]. Тестирование показало, что качественно и количественно абсолютное ПЭС, рассчитанное по одночастотным измерениям, согласуется с оценками, основанными на двухчастотных измерениях (рис. 69, а). Типичное значение разности вертикального ПЭС, полученного одночастотным и двухчастотным методами, для среднеширотных станций не превышает величины ~ 1.5 TECU с СКО до 3 TECU (рис. 69, б). Указанные расхождения соответствуют по порядку величины систематическим и случайным отклонениям глобальных карт ПЭС (GIM), полученных в различных лабораториях. Разработанный подход открывает широкие перспективы мониторинга ионосферы с использованием одночастотных приемников ГНСС.

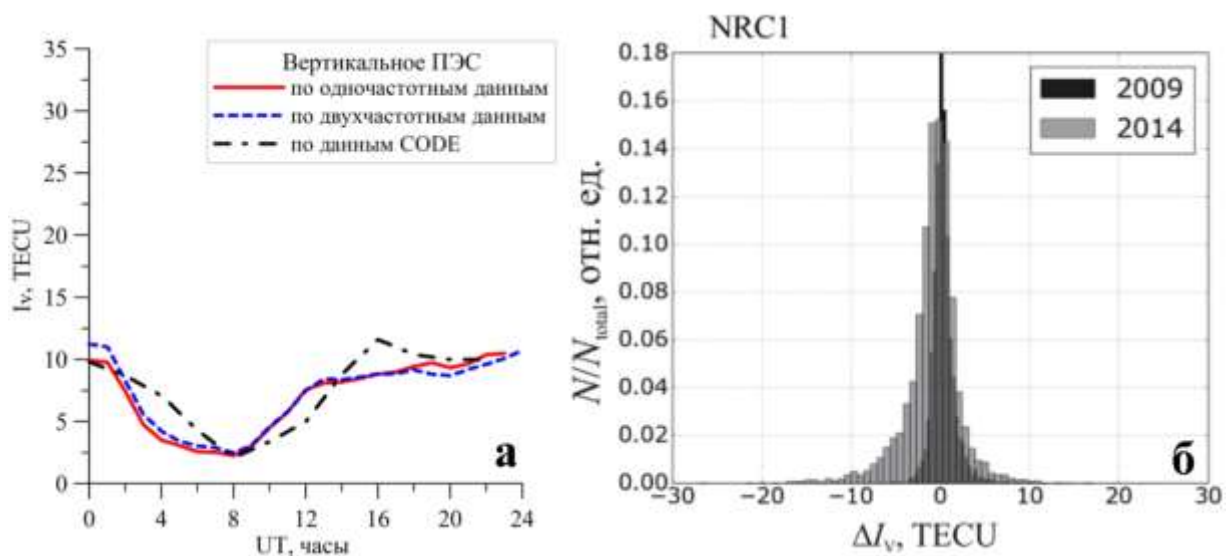


Рис. 69. Суточная динамика абсолютного ПЭС 20 мая 2009 г. над среднеширотной станцией NRC1 и по данным карт GIM лаборатории CODE (а); гистограмма распределения разности значений вертикального ПЭС, полученных по одночастотным и двухчастотным измерениям на станции NRC1 в минимуме 2009 и максимуме 2014 г. солнечной активности (б)

3.1.9. Список использованных источников

1. Ratovsky K.G., Dmitriev A.V., Suvorova A.V., Shcherbakov A.A., Alsatkin S.S., Oinats A.V. Comparative study of COSMIC/FORMOSAT-3, Irkutsk Incoherent Scatter Radar, Irkutsk Digisonde and IRI model electron density vertical profiles // *Adv. Space Res.* 2017. V. 60, N 2. P. 452–460.
2. Zhrebtsov G.A., Ratovsky K.G., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Medvedev A.V., Alsatkin S.S., Oinats A.V., Lukianova R.Yu. Diurnal variations of the ionospheric electron density height profiles over Irkutsk: comparison of the incoherent scatter radar measurements, GSM TIP simulations and IRI predictions // *Adv. Space Res.* 2017. V. 60, N 2. P. 444–451.
3. Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Oinats A.V., Alsatkin S.S., Zhrebtsov G.A. Relation of internal gravity wave anisotropy with neutral wind characteristics in the upper atmosphere // *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2017. V. 122, N 7. P. 7567–7580.
4. Vasilyev R.V., Globa M.V., Kushnarev D.S., Medvedev A.V., Ratovsky K.G. Spectral characteristics of ionospheric scintillations of VHF radiosignal near magnetic zenith // *J. Atmosph. Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 160. P. 48–55.
5. Кушнарев Д.С., Лебедев В.П., Хахинов В.В., Евстифеев С.Е., Заруднев В.Е. Модернизация Иркутского радара некогерентного рассеяния // *Солнечно-земная физика.* 2017. Т. 3, № 3. С. 88–94.
6. Shpynev B.G. Refraction and Faraday rotation in the incoherent scatter radar technique // *Radio Sci.* 2017. V. 52, N 9. P. 1067–1080.
7. Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Иванов В.Б. Определение абсолютного полного электронного содержания по одночастотным спутниковым радионавигационным данным GPS/ГЛОНАСС // *Солнечно-земная физика.* 2017. Т. 3, № 1. С. 97–103.

3.2. Распространение радиоволн различных диапазонов в ионосфере Земли

3.2.1. Уравнение на спектр нормальных волн в модельном анизотропном волноводе Земля—ионосфера

При использовании метода нормальных волн для построения решения системы уравнений Максвелла в волноводе Земля—ионосфера возникает задача определения собственных функций и собственных значений радиального оператора. Эта задача в диапазоне дециметровых радиоволн в случае изотропной ионосферы подробно рассмотрена в монографии [1]. В анизотропном волноводе применение метода нормальных волн затруднено, так как разделение переменных возможно лишь в случае вертикально направленного магнитного поля. Именно в такой простой модели волновода в работе [2] сформулирована радиальная задача, по собственным функциям которой в виде ряда строится решение системы уравнений Максвелла для полей, возбуждаемых произвольным излучателем.

Решение радиальной задачи сводится к решению системы четырех дифференциальных уравнений первого порядка, которую в матричном виде можно записать в виде

$$e' = ikaTe, \quad (3.2.1.1)$$

где

$$e = (R_1 \quad R_2 \quad P_1 \quad P_2)^T, \quad T = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ -i\varepsilon_2 & 0 & 0 & \varepsilon_1 \\ Q_1 & 0 & 0 & i\varepsilon_2 \\ 0 & Q_0/\varepsilon_0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (3.2.1.2)$$

Здесь $Q_0 = \varepsilon_0 - \gamma^2 / y^2$, $Q_1 = \varepsilon_1 - \gamma^2 / y^2$, $R = (R_1, R_2)^T$, γ^2 — собственные функции и собственные значения, $k = \omega / c$, a — радиус Земли, $y = r / a$, $\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2$ — компоненты тензора диэлектрической проницаемости. Далее пренебрегается эффективной частотой соударений электронов в ионосфере, поэтому компоненты тензора имеют вид [3]

$$\varepsilon_0 = 1 - a^2 q(y), \quad \varepsilon_1 = 1 - \frac{a^2 q(y)}{1 - u^2}, \quad \varepsilon_2 = u \frac{a^2 q(y)}{1 - u^2},$$

где $a = f_0 / f$, f_0 — критическая частота ионосферного слоя, $u = f_H / f$, f_H — гирочастота электронов, $q(y)$ — нормированный на единицу в максимуме слоя профиль электронной концентрации.

Наличие большого параметра $ka \approx 10^5 f(\text{МГц})$ позволяет при решении системы уравнений (3.2.1.1) использовать ВКБ-приближение. Решение уравнения (3.2.1.1) для столбца $R = (R_1, R_2)^T$ имеет вид

$$R = \frac{Ce^{ika \int \lambda_i dy}}{\sqrt{\lambda_i (g_i^2 + Q_0)}} \begin{pmatrix} g_i \\ -i\sqrt{\varepsilon_0} \lambda_i \end{pmatrix}. \quad (3.2.1.3)$$

Здесь

$$\begin{aligned} g_i = g_{(1)} = -\chi_+ &= \sqrt{\varepsilon_0} \frac{\lambda_{(1)}^2 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} Q_0}{\varepsilon_2}, \quad \lambda_i^2 = \lambda_{(1)}^2, i = 1, 2. \\ g_i = g_{(2)} = \chi_- &= \sqrt{\varepsilon_0} \frac{\lambda_{(2)}^2 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} Q_0}{\varepsilon_2}, \quad \lambda_i^2 = \lambda_{(2)}^2, i = 3, 4. \\ \chi_{\pm} &= \sqrt{\frac{Q_+ Q_-}{\varepsilon_0}} \pm \frac{u}{2\sqrt{\varepsilon_0}} \frac{\gamma^2}{y^2}, \quad \eta_{\pm} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} \chi_{\pm} \pm \frac{\varepsilon_2}{\sqrt{\varepsilon_0}}. \\ \lambda_{(1,2)}^2 &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} Q_0 + Q_1 \pm \left[\left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} Q_0 + Q_1 \right)^2 - 4 \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} Q_0 \left(Q_1 - \frac{\varepsilon_2^2}{\varepsilon_1} \right) \right]^{1/2} \right\}. \end{aligned} \quad (3.2.1.4)$$

Особые точки (точки поворота y_1, y_2) ВКБ-решения (3.2.1.3) соответствуют случаю, когда $\lambda_{(1,2)} = 0$. Особой точкой (точкой взаимодействия y_3) является также точка, где $\lambda^2 = \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} Q_0 + Q_1 \right) / 2$, т. е. $\lambda_{(1)}^2 = \lambda_{(2)}^2$. Отметим, что особой точкой является также начало ионосферного слоя y_H , где $\varepsilon_2 = 0$. Решение в окрестности точек поворота y_1, y_2 строится, с использованием эталонного уравнения Эйри. За точками поворота y_1, y_2 выбирается затухающее ВКБ-решение [4].

Сшивая решения радиальной задачи в различных областях волновода Земля—ионосфера с учетом граничных условий, получаем уравнение на спектр собственных значений радиальной задачи

$$\chi_{-H} \cos \Phi_2^m \cos \Phi_1^e - \chi_{+H} \sin \Phi_1^m \sin \Phi_2^e = 0, \quad (3.2.1.5)$$

где

$$\begin{aligned} \Phi_1^{e,m} &= ka \int_1^{y_1} \sqrt{\chi_+ \eta_-} dy - \frac{i}{2} \ln V^{e,m} - \frac{\pi}{4} \\ \Phi_2^{e,m} &= ka \int_1^{y_2} \sqrt{\chi_- \eta_+} dy - \frac{i}{2} \ln V^{e,m} - \frac{\pi}{4} \end{aligned} \quad (3.2.1.6)$$

Индексом «Н» обозначены величины $\chi_{\pm}$, значения которых вычисляются при $y = y_H$, $V^{e,m}$ — коэффициенты отражения волны от поверхности Земли [1].

В полученном уравнении спектра нормальных волн нельзя осуществить предельный переход к изотропному случаю $u \rightarrow 0$. Причина этого обстоятельства состоит в том, что интервал (y_2, y_3) между особыми точками достаточно большой, для того чтобы в качестве решений радиального уравнения выбрать суперпозицию затухающих ВКБ-решений, в то время как при предельном переходе $u \rightarrow 0$ интервал (y_2, y_3) стремится к нулю. Вывод уравнения спектра, в котором был бы допустим предельный переход $u \rightarrow 0$, требует дополнительного рассмотрения.

3.2.2. Линейное взаимодействие мод в неоднородном многомодовом волноводе Земля — ионосфера, свойства матрицы трансформации нормальных волн

При описании распространения волн в неоднородном волноводе в рамках метода поперечных сечений, собственные функции в разных сечениях и соответствующие собственные значения не совпадают. В рамках так называемого адиабатического приближения этот факт интерпретируется как непрерывная зависимость собственного значения от продольной координаты (в волноводе земля — ионосфера от полярного угла) и номер волны считается адиабатическим инвариантом. Отклонение от адиабатичности связано с тем, что в общем случае решение системы уравнений на собственные функции не выражается в виде экспоненты от матрицы трансформации, что требует более корректного учета «взаимодействия» волн в разных сечениях. Эта задача известна как задача «линейного взаимодействия мод».

3.2.2.1. Волноводные уравнения

Рассмотрим уравнения Максвелла для фурье-образов:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{B} &= -ik\varepsilon \vec{E} + \frac{4\pi}{c} \vec{j}, & \operatorname{div} \vec{B} &= 0, \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= ik\vec{B}, & \operatorname{div} \varepsilon \vec{E} &= 4\pi\rho, \end{aligned} \quad (3.2.2.1)$$

где ε — комплексная диэлектрическая проницаемость, k — волновое число, ρ и $\vec{j}$ — плотность заряда и тока внешних источников.

В случае азимутальной симметрии можно получить две группы независимых уравнений в сферических координатах. Условно эти группы соответствуют ТМ-полю и ТЕ-полю.

Для ТМ-поля:

$$\begin{aligned} \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial (B_\phi \sin \theta)}{\partial \theta} &= -ik\varepsilon E_r + \frac{4\pi}{c} j_r, \\ -\frac{1}{r} \frac{\partial (rB_\phi)}{\partial r} &= -ik\varepsilon E_\theta + \frac{4\pi}{c} j_\theta, \\ \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (rE_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial E_r}{\partial \theta} \right) &= ikB_\phi. \end{aligned} \quad (3.2.2.2)$$

Для ТЕ-поля:

$$\begin{aligned} \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial (E_\phi \sin \theta)}{\partial \theta} &= ik\varepsilon B_r, \\ -\frac{1}{r} \frac{\partial (rE_\phi)}{\partial r} &= ik\varepsilon B_\theta, \\ \frac{1}{r} \left(\frac{\partial (rB_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial B_r}{\partial \theta} \right) &= -ikE_\phi + \frac{4\pi}{c} j_\phi. \end{aligned} \quad (3.2.2.3)$$

Из выражения (3.2.2.2) и (3.2.2.3) видно, что все компоненты электромагнитного поля можно выразить через B_ϕ и E_ϕ .

Если перейти к новым переменным $x = -\cos\theta$ и $y = r/a$ (a — радиус Земли), и к новым неизвестным функциям $E = rE_\phi\sqrt{1-x^2}$ и $B = rB_\phi\sqrt{1-x^2}/\sqrt{\varepsilon}$, можно записать общее уравнение в виде:

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial y^2} + \tilde{k}^2 a^2 \Pi + \frac{1-x^2}{y^2} \left(\frac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2} - \zeta \Pi \right) = a^2 \sqrt{1-x^2} \tilde{I}, \quad (3.2.2.4)$$

где при $\Pi = E$

$$\tilde{k}^2 = k^2 \varepsilon; \quad \zeta = 0; \quad \tilde{I} = -ika y \frac{4\pi}{c} j_\phi,$$

при $\Pi = B$

$$\tilde{k}^2 = k^2 \varepsilon - \frac{\sqrt{\varepsilon}}{a^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \right); \quad \zeta = \sqrt{\varepsilon} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \right); \quad \tilde{I} = -ay \sqrt{\varepsilon} \frac{4\pi}{c} \text{rot}_\phi j.$$

Будем рассматривать только простейший случай, когда величинами ζ и $\frac{\sqrt{\varepsilon}}{a^2} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \right)$ можно пренебречь. В этом случае мы получаем единое уравнение вида

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial y^2} + k^2 a^2 \varepsilon \Pi + \frac{1-x^2}{y^2} \frac{\partial^2 \Pi}{\partial x^2} = a^2 \sqrt{1-x^2} \tilde{I}, \quad (3.2.2.5)$$

3.2.2.2. Матрица трансформации

Одним из вариантов решения уравнения (3.2.2.6) является представление Π в виде разложения по базису радиальных функций [1]. В случае однородного волновода (ε зависит только от y), решение можно записать в виде

$$\Pi(y, x) = \sqrt{1-x^2} \frac{\pi}{2} \sum_n A_n R_n(y) \frac{P_{\mu_n}^1(x)}{\mu_n(\mu_n+1) \sin \pi \mu_n}, \quad (3.2.2.6)$$

где $P_{\mu_n}^1$ — присоединенная функция Лежандра, A_n — коэффициент возбуждения нормальной волны, $\mu_n(\mu_n+1) = (ka)^2 \gamma_n^2$, а R_n — решение радиального уравнения

$$R_n'' + (ka)^2 \varepsilon R_n = (ka)^2 \frac{\gamma_n^2}{y^2} R_n. \quad (3.2.2.7)$$

Рассмотрим случай, когда диэлектрическая проницаемость зависит от координат y и x . Для этого, разобьем трассу на P участков, таких, чтобы на каждом участке выполнялось $\varepsilon(y, x) \approx \varepsilon_p(y)$. При выполнении этого условия мы можем записать решение уравнения (3.2.2.5) на p -ом участке трассы с помощью выражения (3.2.2.6)

$$\Pi^p(y, x) = \sqrt{1-x^2} \frac{\pi}{2} \sum_n A_n^p R_n^p(y) \frac{P_{\mu_n^p}^1(x)}{\mu_n^p(\mu_n^p+1) \sin \pi \mu_n^p}. \quad (3.2.2.8)$$

Для нулевого участка и излучателя, угловой размер которого не превышает x_1 (граница нулевого участка), можно найти значение коэффициентов возбуждения

$$A_n^0 = - \int_{-1}^{x_0} P_{\mu_n^0}^1(-x) I_n(x) dx, \quad (3.2.2.9)$$

где

$$I_n(x) = a^2 \int_0^{+\infty} \tilde{I}(y, x) R_n^0(y) dy.$$

Для остальных участков трассы будем сшивать решения на границе p -го и $(p+1)$ -го участков:

$$\Pi^p(y, x_{p+1}) = \Pi^{p+1}(y, x_{p+1}), \quad (3.2.2.11)$$

тогда мы можем получить

$$A_n^{p+1} = \sum_m A_m^p \frac{\mu_n^{p+1} (\mu_n^{p+1} + 1)}{\mu_m^p (\mu_m^p + 1)} T_{nm} \sqrt{\frac{\mu_m^p}{\mu_n^{p+1}}} \frac{e^{i(\mu_m^p + \frac{1}{2})\theta_{p+1}}}{e^{i(\mu_n^{p+1} + \frac{1}{2})\theta_{p+1}}}, \quad (3.2.2.12)$$

где T_{nm} — матрица трансформации

$$T_{nm} = \int_0^{+\infty} \frac{R_m^p (R_n^{p+1})^*}{y^2} dy. \quad (3.2.2.13)$$

Таким образом, в приближении расходящейся от источника волны и относительно небольшого градиента по x , мы можем определять поле на следующем участке трассы, используя значение поля на предыдущем участке трассы.

3.2.2.3. Малый продольный градиент

При наличии малого продольного градиента, матрица T_{nm} становится очень близка единичной диагональной матрице (можно показать с помощью теории возмущений). В этом случае выражение для A_n^{p+1} примет вид

$$A_n^p = A_n^0 \frac{\mu_n^p (\mu_n^p + 1)}{\mu_n^0 (\mu_n^0 + 1)} \sqrt{\frac{\mu_n^0}{\mu_n^p}} \frac{e^{i \sum_{k=0}^{p-1} (\mu_n^k + \frac{1}{2})(\theta_{k+1} - \theta_k)}}{e^{i(\mu_n^p + \frac{1}{2})\theta_p}}. \quad (3.2.2.20)$$

Подставим (3.2.2.20) в (3.2.2.9), что дает довольно простое выражение

$$\Pi^p(y, x) = i e^{i \frac{\pi}{4}} \sqrt{\frac{\pi \sin \theta}{2}} \sum_n A_n^0 R_n^p(y) \frac{\sqrt{\mu_n^0}}{\mu_n^0 (\mu_n^0 + 1)} e^{i \sum_{k=0}^{p-1} (\mu_n^k + \frac{1}{2})(\theta_{k+1} - \theta_k) + i(\mu_n^p + \frac{1}{2})(\theta - \theta_p)}. \quad (3.2.2.21)$$

В показателе экспоненты фактически стоит интеграл $\int_0^\theta \left(\mu_n(\theta) + \frac{1}{2} \right) d\theta$, взятый численно методом прямоугольников. В пределе, когда длина участка стремится к нулю, мы фактически получаем точное значение этого интеграла. Полученная формула соответствует приближению, в котором номер нормальной волны считается адиабатическим инвариантом.

3.2.2.4. Расчет матрицы трансформации

Был произведен расчет матрицы трансформации для случая стандартной квазипараболической ионосферы (критическая частота 6 МГц, высота максимума 300 км, высота начала ионосферы 90 км). При этом критическая частота между соседними срезами была изменена на 1 % (с 6 на 6.06 МГц).

В адиабатическом приближении, когда номер нормальной волны является инвариантом, это соответствует синей линии. Можно видеть, что максимумы отклоняются от диагонали при увеличении номеров нормальных волн. Это отклонение тем сильнее, чем больше изменение.

В адиабатическом приближении при фиксированном шаге по дальности мы принудительно делаем матрицу трансформации квадратной по ее наименьшей стороне. В примере на рис. 70, где изменялась только высота максимума на 1 % (с 300 на 303 км), можно видеть, что данный подход привел бы к потере почти трехсот нормальных волн.

Таким образом, если принять за инвариант величину собственного значения радиального оператора, это позволяет более аккуратно учитывать изменения ионосферы вдоль радиотрассы при фиксированном шаге.

При более детальном рассмотрении строк матрицы трансформации, представленной рис. 70, на рис. 71, *а-г*, можно заметить асимметрию в распределении энергии между нормальными волнами. При этом большая часть энергии распределяется в окрестности максимумов со смещением в сторону нормальных волн, точка отражения которых лежит выше точки отражения нормальной, соответствующей предыдущему срезу. Это соответствует рассеянию на градиенте.

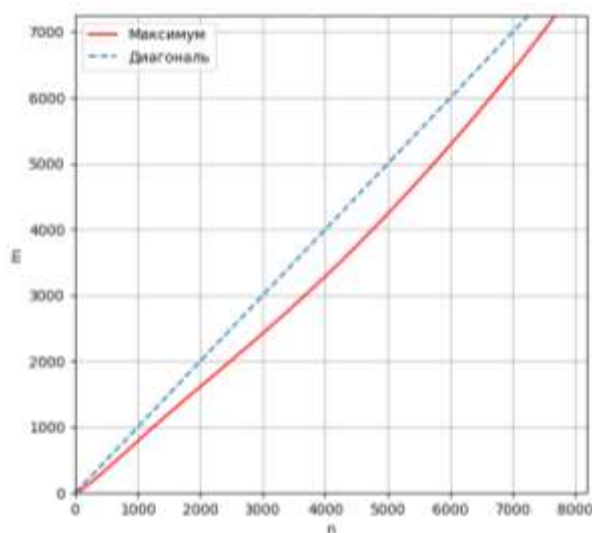


Рис. 70. Матрица трансформации при изменении высоты максимума на 1 %

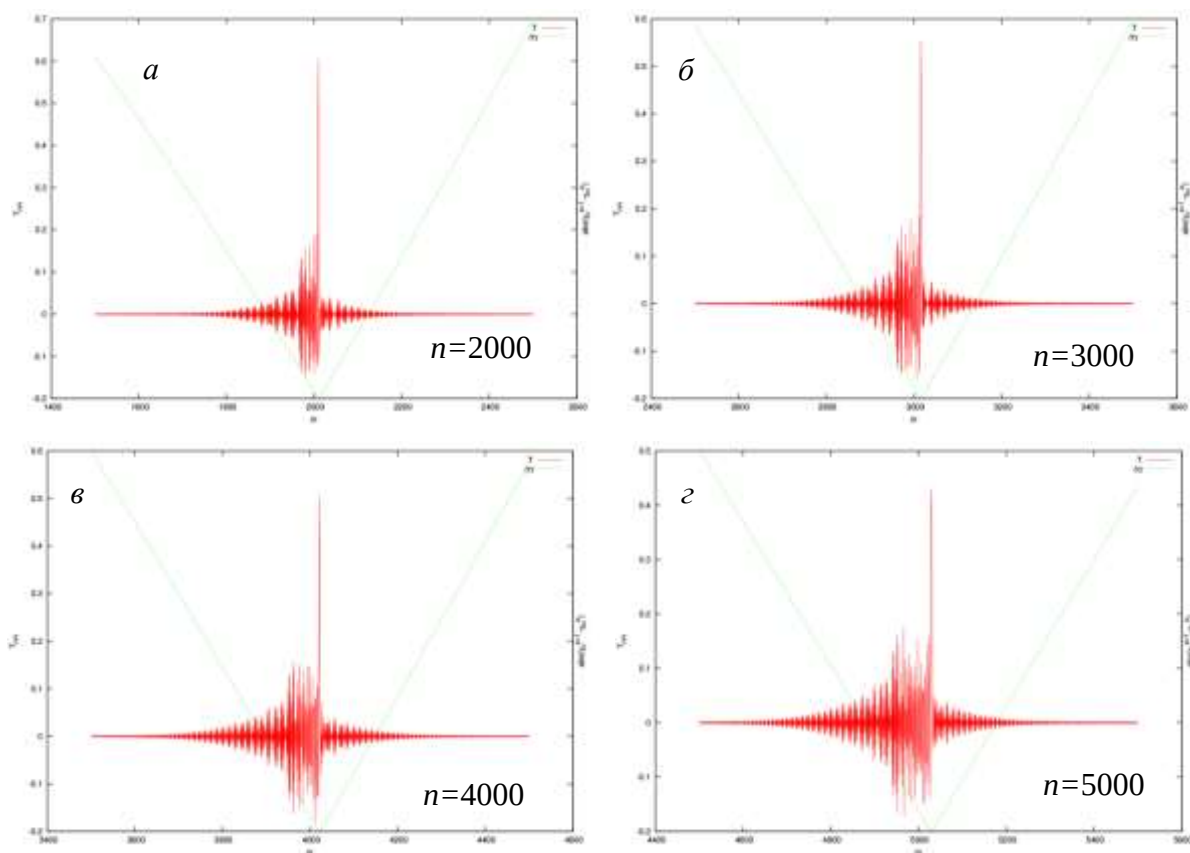


Рис. 71. Строки матрицы трансформации при изменении частоты на 1 %

3.2.3. Результаты моделирования модовой структуры КВ-сигналов, рассеянных локализованными неоднородностями в ионосфере и шероховатостями земной поверхности

Метод возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ) обладает наибольшими потенциальными возможностями для диагностики ионосферы и условий распространения радиоволн на коротковолновых трассах. В частности, регистрация дистанционно-частотных характеристик сигналов ВНЗ (ионограмм) позволяет определять максимальные применимые частоты (МПЧ) модов наклонного распространения радиоволн в направлении зондирования. На основе экспериментальных исследований и моделирования характеристик распространения было выявлено, что основной вклад в формирование сигнала ВНЗ вносят участки рассеяния земной поверхности, расположенные вблизи границы освещенной зоны (переход от зоны молчания к зоне приема для сигналов наклонного зондирования) для отдельных скачков. Положение границы освещенной зоны находится с помощью дистанционно-частотной характеристики (ДЧХ) сигналов ВНЗ по переднему фронту, так как максимум в амплитудном рельефе сигнала ВНЗ близок по групповому пути к границе переднего фронта. В рамках волноводного подхода [1] были разработаны оперативные алгоритмы расчета дистанционно-частотной характеристики сигналов ВНЗ по переднему фронту [6]. На основе расчета частотных зависимостей минимального группового пути $P_m(f)$ и границы освещенной зоны $D_m(f)$, вторичной обработки экспериментальных ионограмм ВНЗ проводится интерпретация регистрируемых сигналов и построение треков [7]. Результаты интерпретации являются исходными данными для определения МПЧ модов наклонного распространения на заданную дальность в направлении зондирования [8].

На рис. 72–75 представлены экспериментальные ионограммы ВНЗ, полученные 22 января 2007 г. на базе ЛЧМ-ионозонда ИСЗФ СО РАН [9], и результаты моделирования ДЧХ ВНЗ по переднему фронту $P_m(f)$. Отличительной особенностью эксперимента было исследование особенностей условий формирования рассеянного сигнала ВНЗ, приходящего с различных азимутальных направлений. Прием сигналов ВНЗ осуществлялся на систему антенн типа БС-2 с последовательным переключением азимутов основного направления приема в течение 1 ч через 15 мин: 55°, 121°, 235° и 301°. На ионограмме для сеанса зондирования 05:01 UT, показанной на рис. 72, помимо сигналов, приходящих с направления основного излучения, регистрируются сигналы, приходящие с других направлений. Результаты моделирования ДЧХ сигналов ВНЗ мода распространения 1F2 с использованием модели IRI, полученные для направления зондирования с азимутом 55°, представлены на рис. 72 сплошной линией. Штриховой линией показаны результаты моделирования $P_m(f)$, полученные для направления с азимутом 235°, противоположному основному направлению приема антенны БС-2. Из сопоставления результатов моделирования и экспериментальных данных можно сделать вывод, что разделение ДЧХ сигналов ВНЗ для данного сеанса обусловлено регистрацией рассеянных сигналов обратным лепестком диаграммы направленности приемной антенны. Наклон ДЧХ сигналов ВНЗ, приходящих с северного направления, больше наклона ДЧХ для сигналов, приходящих с южного направления. Эффект разделения ДЧХ сигналов ВНЗ более выражен в переходные часы суток вдоль направления зондирования и усиливается с увеличением мощности передатчика. Аналогичное менее выраженное разделение ДЧХ ВНЗ наблюдается для сеанса 05:46 UT при зондировании в секторе с азимутом 301°. На рис. 76 приведены ионорама ВНЗ, полученная 22.01.2007 в 05:46 UT, и результаты моделирования ДЧХ сигналов ВНЗ по переднему фронту. Сплошными линиями показаны результаты моделирования $P_m(f)$ в секторе приема сигналов ВНЗ с азимутом 301°, штриховыми — с азимутом 121°. В данном случае сигнал, регистрируемый с обратного направления приема, имеет большую амплитуду и более широкий частотный интервал приема по сравнению с прямым сигналом.

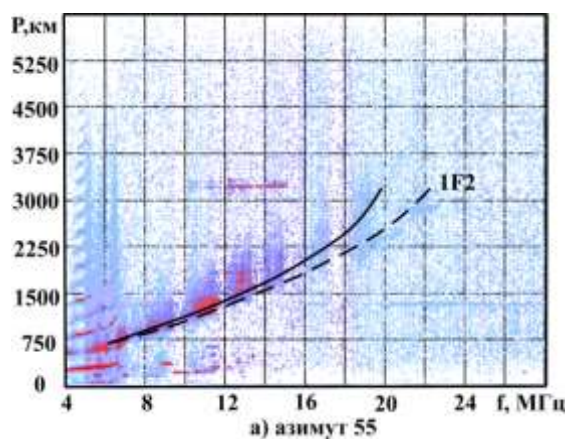


Рис. 72. Ионограмма ВНЗ и результаты моделирования $P_m(f)$ 22.01.2007, 05:01 UT

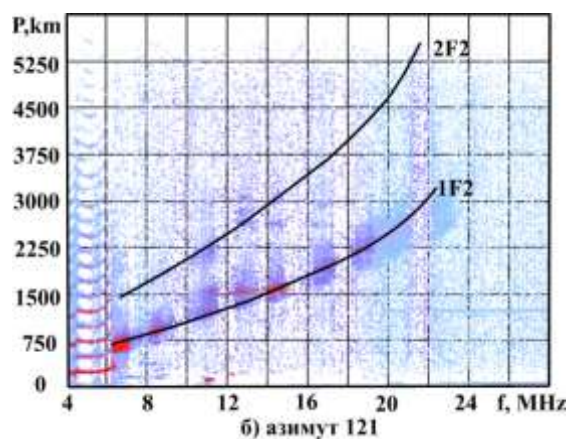


Рис. 73. Ионограмма ВНЗ и результаты моделирования $P_m(f)$ 22.01.2007, 05:16 UT

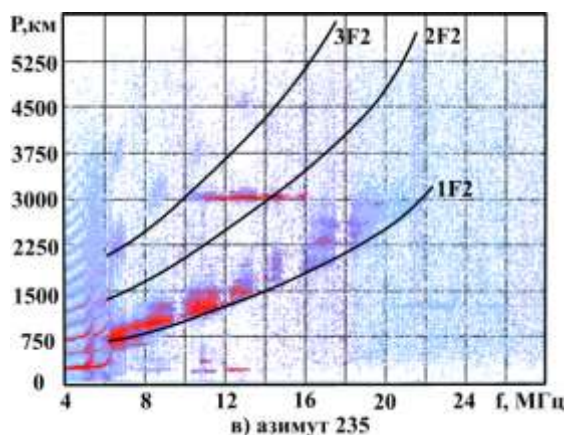


Рис. 74. Ионограмма ВНЗ и результаты моделирования $P_m(f)$ 22.01.2007, 05:31 UT

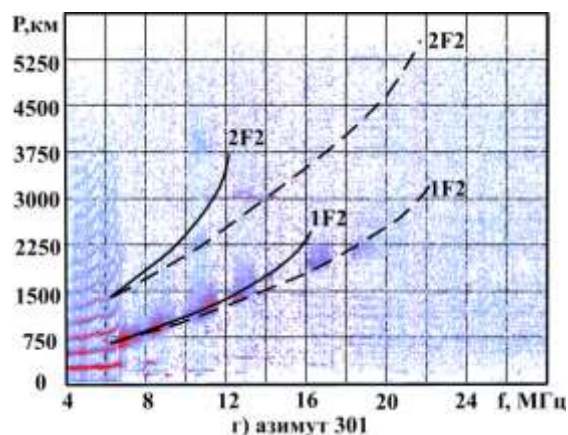


Рис. 75. Ионограмма ВНЗ и результаты моделирования $P_m(f)$ 22.01.2007, 05:46 UT

Помимо сигналов ВНЗ, соответствующих односкачковому моду распространения 1F2, на ионограммах, приведенных на рис. 73–75, присутствуют сигналы, приходящие в точку приема по двухскачковым и даже по трехскачковым траекториям за счет отражения от F-слоя и земной поверхности. Двухскачковые и трехскачковые сигналы ВНЗ хорошо идентифицируются по результатам моделирования ДЧХ ВНЗ на основе метода нормальных волн с использованием модели IRI без адаптации ионосферных параметров.

На ионограммах ВНЗ (рис. 72, 74) зарегистрированы сигналы, имеющие слабую частотную зависимость группового пути, которые не могут быть интерпретированы как типовые сигналы ВНЗ. Появление таких сигналов на ионограммах для сеансов зондирования в 05:01 и 05:31 UT может быть связано с отражением от горных хребтов на юге Средней Азии (горная цепь Памира, находящаяся на удалении ~3000 км в направлении с азимутом 235° от пункта излучения).

Накопленный массив данных позволяет исследовать особенности распространения сигналов ВНЗ в различных гелиогеофизических условиях. Были выявлены наиболее характерные типы ионограмм и установлены условия появления того или иного типа в зависимости от времени суток, сезона, направления зондирования, состояния среды. Зимой, весной и осенью преобладающими являются ионограммы с сигналами ВНЗ, соответствующими односкачковому моду распространения посредством отражения от F-слоя ионосферы. Состояние ионосферы, характеризуемое ионограммами этого типа, создает наиболее благоприятные условия для выбора и корректировки рабочих частот наклонного зондирования. Как правило, удается получать качественные ионограммы для дальностей до 3000–4000 км. В переходные часы суток наряду с основными сигналами регистрируются

сигналы, приходящие с противоположных относительно азимута зондирования направлений. В летние периоды регистрируются сигналы, отраженные слоями E или E_s. При этом частоты принимаемых сигналов достаточно велики и возможны случаи, когда отражения от F-слоя отсутствуют. Ионограммы этого типа позволяют судить об освещенности земной поверхности на расстояниях, не превышающих 1500–2000 км. Были зарегистрированы ионограммы с нестандартными следами отражений, имеющих слабую частотную зависимость группового пути, которые не могут быть интерпретированы как типовые сигналы ВНЗ.

3.2.4. Прямая диагностика радиоканала по данным возвратно-наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом

Метод прямой диагностики КВ-радиоканала базируется на результатах автоматической обработки и интерпретации ионограмм возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ) ионосферы, полученных на ЛЧМ-ионозонде [8, 9]. Используются слабо меняющиеся соотношения частотных зависимостей групповых характеристик сигналов НЗ и ВНЗ в различных гелиогеофизических условиях. Интерпретация сигналов на ионограмме проводится по результатам расчета дистанционно-частотной характеристики (ДЧХ) сигнала ВНЗ по переднему фронту. Моделирование характеристик распространения радиоволн проводится в рамках волноводного подхода с использованием модели IRI [6]. На рис. 76 приведены экспериментальная ионограмма ВНЗ после вторичной обработки и результаты интерпретации данных. Пункт излучения сигналов ВНЗ — Усолье-Сибирское (52.88° N, 103.26° E); пункт приема — с. Торы, республика Бурятия (51.70° N, 103.0° E) [9]; азимут излучения — 55°; время регистрации — 19.11.2005, 02:10 UT. Поскольку используемый ЛЧМ-ионозонд относится к маломощным системам с мощностью передатчика <1 кВт, в режиме возвратно-наклонного зондирования он позволяет регистрировать рассеянные сигналы в пределах максимальной дальности одного скачка (~3000–4000 км). На рис. 76 точками нанесены выделенные в результате вторичной обработки сигналы ВНЗ со значимой амплитудой. Сплошной линией отображены результаты моделирования P_{mod} и интерпретации P_{int} ДЧХ сигналов ВНЗ.

Результаты интерпретации ионограммы ВНЗ позволяют оперативно определить максимальные применимые частоты, по которым корректируются прогнозные ДЧХ сигналов НЗ, на заданных в секторе зондирования радиотрассах, минуя коррекцию параметров ионосферы. Расчет МПЧ сигнала НЗ при заданной длине радиотрассы по текущей ДЧХ сигналов ВНЗ базируется на адиабатическом соотношении P_m/D_m , которое слабо меняется при вариациях параметров ионосферы. Здесь $P_m(f)$ — групповой путь, соответствующий переднему фронту сигнала ВНЗ, $D_m(f)$ — дальность до границы освещенной зоны. Для заданной дальности D_0 вычисляется отношение $\eta = P_m/D_0$. Далее на реальной ДЧХ ВНЗ по переднему фронту определяется частота, для которой групповой путь равен значению $P_m = \eta D_0$. Рассчитанная таким образом частота будет являться реальной максимальной применимой частотой (МПЧ) f_m для дальности D_0 . После определения МПЧ для заданной дальности можно рассчитать реальную ДЧХ НЗ соответствующего мода распространения по результатам долгосрочного прогноза путем масштабирования ДЧХ НЗ на относительной сетке частот $\beta = f/f_m$. На рис. 77 показаны результаты восстановления ДЧХ сигналов НЗ по данным ВНЗ на сетке дальностей.

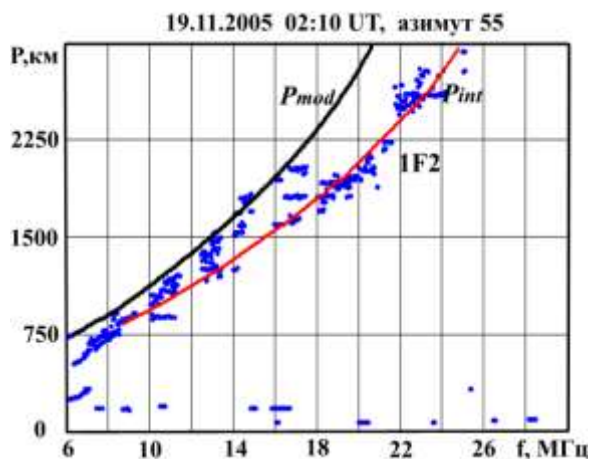


Рис. 76. Результаты моделирования и интерпретации ДЧХ сигналов ВНЗ: точки — групповые задержки сигнала со значимой амплитудой, черная кривая — результаты моделирования, красная кривая — результаты интерпретации мода 1F2.

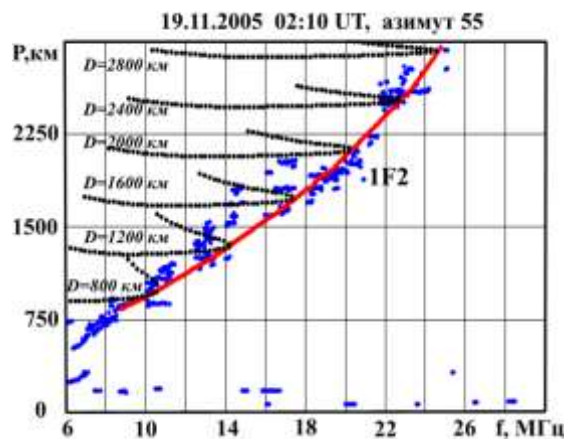


Рис. 77. Результаты восстановления ДЧХ сигналов НЗ по данным ВНЗ: точки — групповые задержки сигнала со значимой амплитудой, красная кривая — результаты интерпретации мода 1F2, черные кривые — результаты восстановления ДЧХ НЗ на сетке дальностей.

Можно отметить следующие результаты оперативной диагностики радиоканала по данным ВНЗ. ДЧХ сигнала ВНЗ по переднему фронту $P_m(f)$, восстановленные ДЧХ НЗ и МПЧ для заданной радиотрассы могут быть использованы в качестве входных параметров при решении обратной задачи определения параметров ионосферы по данным зондирования. Для оперативного расчета параметров ионосферы реализован алгоритм на основе обращения ДЧХ наклонного зондирования в высотно-частотную характеристику (ВЧХ) вертикального зондирования вблизи средней точки трассы с использованием модификации метода Смита (метод кривых передачи) и с последующим восстановлением профиля электронной концентрации — таким образом, решается обратная задача вертикального зондирования [10,11]. Отметим, что результаты моделирования $P_m(f)$ и $D_m(f)$ для прогнозных значений параметров ионосферы и результаты восстановления реальной ДЧХ ВНЗ по переднему фронту позволяют напрямую приближенно определять критическую частоту и высоту максимума слоя F2, используя схему инверсии ионограмм ВНЗ по переднему фронту регистрируемого сигнала [12].

3.2.5. Список использованных источников

1. Куркин В.И., Орлов И.И., Попов В.Н. Метод нормальных волн в проблеме коротковолновой радиосвязи. М.: Наука, 1981. 124 с.
2. Михайлов С.Я., Попов В.Н. Решение краевой задачи для системы уравнений Максвелла методом нормальных волн в сферически-слоистом анизотропном волноводе с радиально направленным магнитным полем. М.: Наука, 1991. Вып. 96. С. 12–25.
3. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука, 1967. 683 с.
4. Федорюк М.Б. Асимптотические методы для линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1983. 352 с.
5. Мигдал А.Б., Крайнов В.П. Приближенные методы квантовой механики. М.: Наука, 1966. 152 с.
6. Пономарчук С.Н., Ильин Н.В., Ляхов А.Н., Пензин М.С., Романова Е.Б., Тащилин А.В. Комплексный алгоритм расчета характеристик распространения КВ-радиоволн на основе модели ионосферы и плазмосферы и метода нормальных волн // Изв. вузов. Физика. Тематический выпуск. 2016. Т. 59, № 12/2, С. 70–74.

7. Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Penzin M.S. The Research of backscatter ionosphere sounding features on the base of chirp ionosonde // PIERS-2017. St Petersburg, 2017 (in print).
8. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kotovich G.V., et al. Automatic processing and interpretation of backscatter ionosphere sounding ionograms // Proc. SPIE. 2016. V. 10035. P. 100351E. DOI: 10.1117/12.2248765.
9. Подлесный А.В., Брынько И.Г., Куркин В.И. и др. Многофункциональный ЛЧМ-ионозонд для мониторинга ионосферы // Гелиогеофиз. иссл. 2013. Вып. 4. С. 24–31.
10. Котович Г.В., Ким А.Г., Михайлов С.Я., Грозов В.П., Михайлов Я.С. Определение критической частоты f_0F2 в средней точке трассы по данным наклонного зондирования на основе метода Смита // Геомагнетизм и аэрномия. 2006. № 4. С. 547–551.
11. Михайлов С.Я. Многозначность восстановления профилей плазменной частоты по заданной ВЧХ и их различимость для наклонного распространения коротких радиоволн в изотропной ионосфере // Изв. вузов. Радиофизика. 2000. Т. XLII, № 10. С. 855–872.
12. Li N., Zhao Z., et al. Inversion of sweep frequency backscatter ionogram from monostatic HF sky-wave radar // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2013. V. 10, N 6. P. 1360–1364.

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

Процессы влияния космической погоды на околоземное космическое пространство, ионосферу и атмосферу Земли, а также на функционирование технических средств являются одной из актуальных научных проблем, исследуемой во всем мире. Одним из способов ее исследования являются долговременные наблюдения за проявлениями космической погоды в верхней атмосфере Земли радарными методами обратного рассеяния дециметрового диапазона радиоволн. Постоянно растущая сеть подобных радаров SuperDARN (Super Dual Auroral Radar Network) и начало развертывания ИСЗФ СО РАН аналогичных радаров на территории РФ позволяет детально исследовать пространственно-временную динамику этих процессов в средне- и высокоширотной ионосфере. Задачей проекта являлось совершенствование методов диагностики среды подобными радарными методами, поддержка долгосрочных рядов наблюдений, а также анализ большого объема получаемых данных в приложении к задачам исследования проявлений космической погоды.

3.3.1. Развитие методов исследования ветров в верхней атмосфере Земли по наблюдениям метеорного эха на радаре ЕКВ

Одним из методов исследования ветров в верхней атмосфере Земли является исследование сигналов, рассеянных на метеорных следах. Несмотря на то, что радар ЕКВ изначально не предназначен для решения такой задачи, ее решение позволяет расширить диагностические возможности радара и расширить спектр измеряемых параметров верхней атмосферы в секторе его обзора. Кроме того, это особенно важно в задачах исследования процессов в верхней атмосфере над территорией РФ, недостаточно плотно покрытой научными установками по мониторингу состояния верхней атмосферы. В рамках выполнения проекта был реализован алгоритм автоматического поиска сигналов, рассеянных на метеорных следах по данным радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН. Для тестирования алгоритма было показано, что в день максимума потока Геменид 13.12.2016 г. детектируемые алгоритмом рассеянные сигналы носят ракурсный характер и соответствуют ракурсному рассеянию на неоднородностях, вытянутых в направлении на радиант метеорного потока. Это подтверждает, что источником выделяемых алгоритмом сигналов является рассеяние на метеорных следах.

Было получено решение обратной задачи восстановления вектора скорости нейтрального ветра по полученным данным взвешанным методом наименьших квадратов в рамках предположения об изотропности поля нейтральных скоростей в локальной системе координат метеора. На основе геометрических соображений и в предположении

гауссова распределения высот сгорания метеоров по высоте проведено определение весовой функции метода и реализован алгоритм определения полного вектора скорости нейтрального ветра в рамках описанных предположений.

Для тестирования метода решения обратной задачи восстановления полного вектора скорости нейтрального ветра на базе долговременных измерений метеорного эха (23.12.2016–3.07.2017 г.) проведено восстановление нейтральных ветров в моделях двумерного (горизонтального) и трехмерного ветров (рис. 78 снизу). Проведено сравнение роз горизонтальных нейтральных ветров, полученных в этих моделях, показаны близость роз ветров и ожидаемое преобладание зональной компоненты над меридиональной. Сравнение показало малость вклада вертикального ветра в зональный.

Разработанные алгоритмы позволяют вести обработку рассеянных сигналов в режиме реального времени. Алгоритм выделения метеорных следов и определения их параметров — доплеровского смещения частоты и времени жизни — введен в постоянную эксплуатацию на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН.

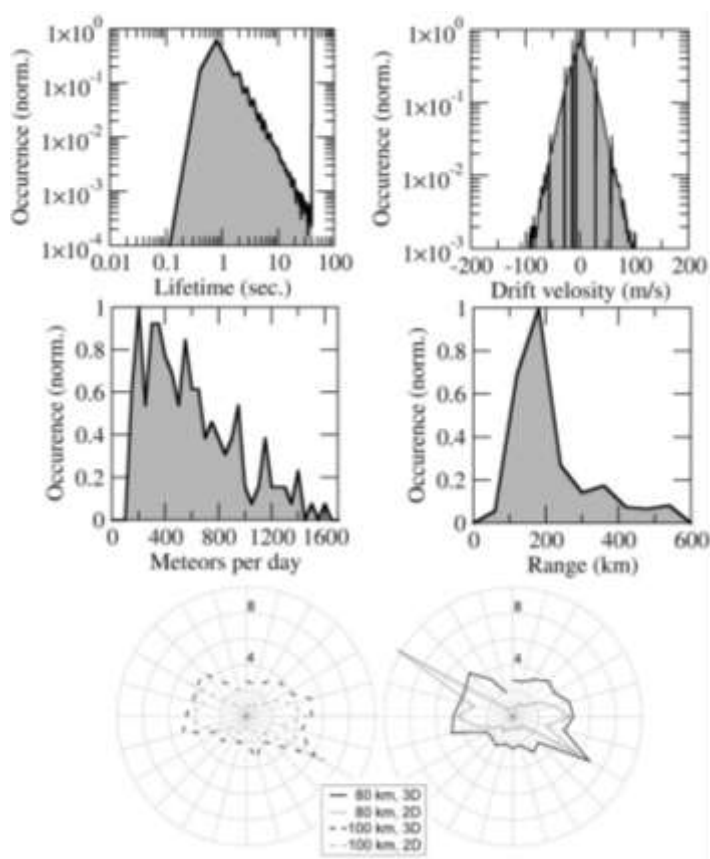


Рис. 78. Вверху — статистика распределения характеристик метеорных следов. Распределения времени жизни метеорного следа, доплеровской скорости вдоль луча зрения, количества метеорных следов в день и дальности до метеорного следа. Внизу — розы ветров, рассчитанные по данным радара ЕКВ в моделях горизонтальной (2D) и трехмерной скорости, при различных модельных высотах рассеяния (80 и 100 км)

3.3.2. Разработка новых методов анализа рассеянных сигналов на радаре ЕКВ

В последнее время для изучения ионосферы широко используются импульсные загоризонтные декаметровые радары, работающие на фиксированной частоте.

Прежде всего, это сеть радаров SuperDARN, а также радары, имеющие аналогичный принцип функционирования. Основная задача таких радаров — изучение ионосферного рассеяния (ИР) на магнитоориентированных неоднородностях. Сигналы, рассеянные земной поверхностью (земное рассеяние, ЗР), являются скорее помехой для выполнения этой основной задачи, затрудняющей получение результатов эксперимента. Если в высоких широтах, где

количество ионосферного рассеяния велико, проблема земного рассеяния стоит менее остро, на среднеширотных радарх она является существенной. Одним из перспективных развиваемых нами подходов к решению проблемы выделения сигналов ЗР из рассеянного сигнала является анализ полной (амплитудно-фазовой) структуры рассеянных сигналов без их предварительного статистического усреднения и развитие методов и алгоритмов такого анализа.

В работе на основе данных импульсного декаметрового когерентного радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН проведен анализ рассеянного сигнала в случаях ЗР и ИР и сигналов, рассеянных в каждом одиночном сеансе зондирования, до статистического усреднения и построена единая модель сигналов, позволяющая проводить их разделение без предположений о их доплеровском смещении и спектральной ширине.

Для решения этой задачи нами было модернизировано программное обеспечение радара и запущен в регулярную эксплуатацию (1/6 рабочего цикла) режим повышенной оцифровки данных радара. Исследована модель отдельных реализаций рассеянного сигнала в случаях рассеяния от земной поверхности и ионосферных неоднородностей (примерный вид этих сигналов показан на рис. 79). Разработан и реализован метод оценки времени жизни рассеивающих неоднородностей по данным радара.

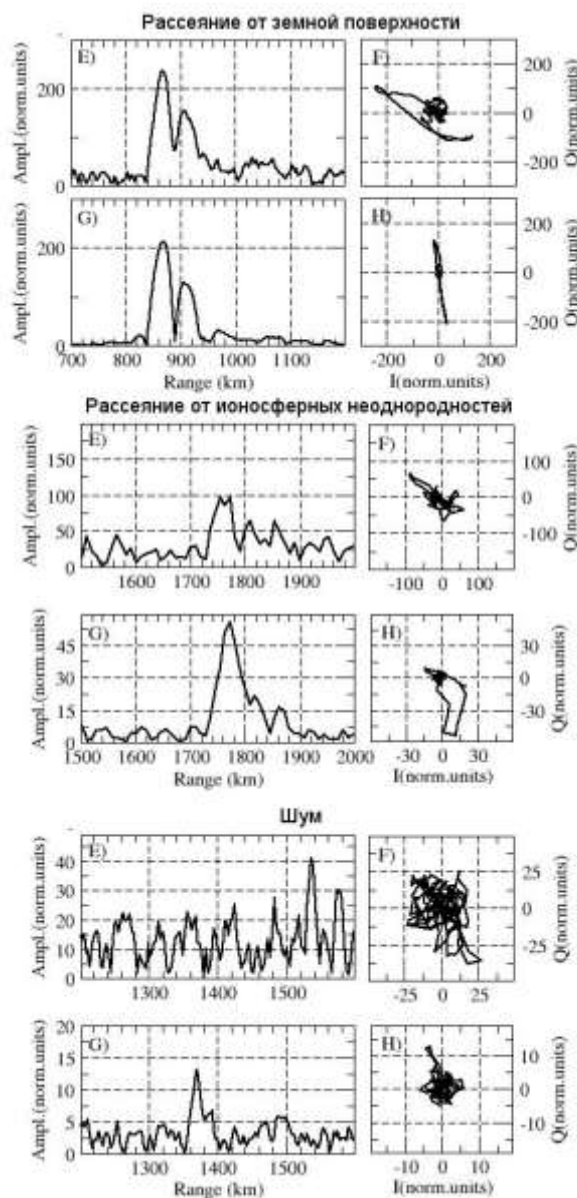


Рис. 79. Формы отдельных реализаций и результата их накопления по 300 мс. Сверху вниз: рассеяние от земной поверхности (реализация и накопленный), рассеяние от магнитоориентированных ионосферных неоднородностей (реализация и накопленный), шум (реализация и накопленный)

На основе анализа полной формы сигнала разработан новый метод разделения сигналов ионосферного рассеяния и рассеяния от поверхности Земли, не использующий стандартные алгоритмы вторичной обработки SuperDARN. Эффективность метода превышает эффективность стандартных алгоритмов разделения сигналов, используемых на радарх SuperDARN.

Вероятно, в будущем разработанные методы позволят решать актуальные проблемы выделения аврорального рассеяния на фоне сигналов, рассеянных от земной поверхности, и шумов. Задача актуальна на всех КВ-радарх и необходима, в частности, при анализе магнитосферных волн в условиях слабой геомагнитной возмущенности или при быстропротекающих событиях.

3.3.3. Разработан и опробован метод калибровки радара ЕКВ по дальности по сигналам, рассеянным земной поверхностью

Основной проблемой радаров, работающих в декаметровом диапазоне частот, является точное определение дальности до рассеивающих неоднородностей. Решение этой задачи существенно осложнено рефракцией, меняющей форму и длину траектории распространения радиосигнала, а также его групповую задержку. Поэтому развитие методов по уменьшению неточности определения географических координат наблюдаемых ионосферных эффектов по групповой задержке, измеряемой радаром, необходимо как для исследований процессов в верхней атмосфере Земли и связи ионосферы и магнитосферы, так и для мониторинга положения и динамики ионосферных образований, оказывающих существенное влияние на радиолокацию, спутниковую навигацию и радиосвязь.

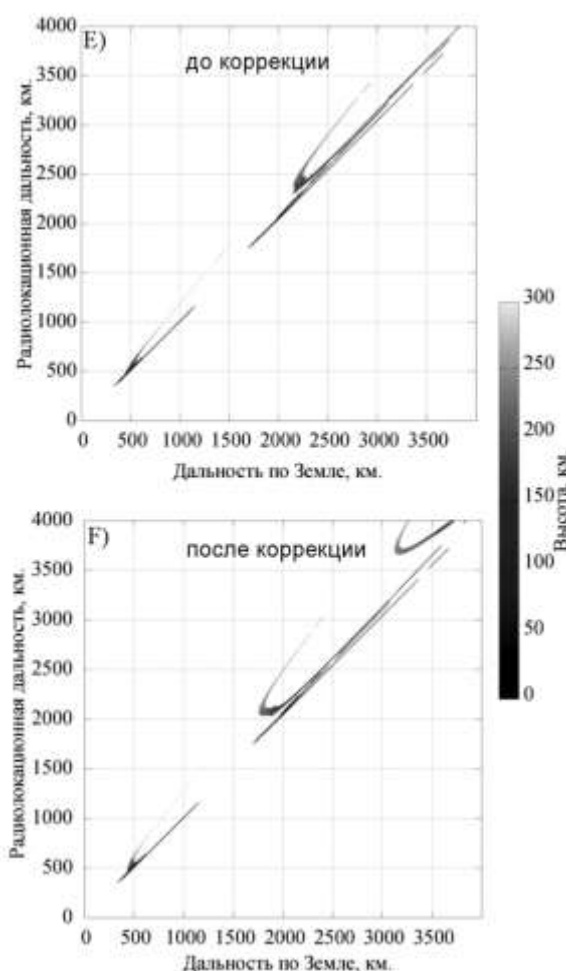


Рис. 80. Зависимость измеренной радиолокационной дальности от дальности по Земле до и после коррекции, связанной с учетом эффекта рефракции сигнала в ионосфере

В настоящее время в ИСЗФ СО РАН функционируют два современных радара для диагностики ионосферы методом обратного рассеяния радиоволн: Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) (154–162 МГц) и радар ЕКВ (8–20 МГц). Были проанализированы результаты совместных наблюдений с помощью них мощного рассеяния (радиоавроры) 08.06.2015 г. Для определения положения радиоавроры разработан оригинальный метод, учитывающий как особенности распространения радиоволн, так и особенности антенных систем этих радаров.

Метод калибровки радара ЕКВ основан на использовании сигналов возвратно-наклонного зондирования, регистрируемых радаром, с калибровкой по модели IRI, варьируемой параметром f_oF2 . Показано, что без использования коррекции абсолютная ошибка по дальности может достигать 500 км.

Метод коррекции использован при интерпретации эксперимента по совместному наблюдению радиоавроры в двух диапазонах частот — КВ и УКВ (на радарх ЕКВ и ИРНР).

3.3.4. Исследована динамика продольных токов на взрывной фазе магнитосферных суббурь 20 ноября 2003 и 27 августа 2001 г.

На основе оригинальной техники инверсии магнитограмм (ТИМ) была начата и продолжалась в 2017 г. разработка оригинального подхода на основе постулата, согласно которому влияние на фазу расширения (expansion phase, EP) изменений параметров солнечного ветра действительно пренебрежимо мало, но учитываются перераспределения в ходе EP токов и мощности возмущения между полушариями и внутри каждого полушария. Такой подход, реализованный нами впервые, поддерживается серией данных наблюдений [1]. Постулат позволяет при определенных ограничениях рассматривать две суббури, наблюдаемые в магнитосопреженных областях двух полушарий в разное время как единую глобальную суббурю: 1) интенсивности продольных токов (ПТ) и мощности суббурь в двух полушариях выровнены, 2) суббури наблюдаются в рассматриваемые моменты t_0 пика EP, и 3) эти два разных момента t_0 в двух полушариях соответствуют один зимнему, другой — летнему сезону года. Эти ограничения позволяют объединить в единую пару два распределения в ионосфере плотности продольного тока (I_{RM}), вычисленные на пиках EP (моменты t_0), на основе разновременных измерений в разных полушариях. Объединение компенсирует упомянутый дефект существующей модели EP суббури — нехватку данных измерений в Южном полушарии. На основе объединенной пары суббурь строится модель глобальной электрической цепи системы ПТ и ионосферных токов Педерсена (рис. 81), построенная по упомянутым данным объединенной пары суббурь 20 ноября 2003 г. (зимний тип, вверху) и 27 августа 2001 г. (летний тип)

Изложенный подход был реализован нами сначала в 2015, затем в 2016 г. с использованием эмпирических данных EP двух глобальных событий. Было найдено, что полученная на основе нового подхода глобальная модель EP суббури не противоречит каким-либо известным наблюдениям, хотя принципиально отличается от общепринятого в течение многих десятилетий образца. Выводы были сделаны нами по данным двух рассмотренных глобальных, но полученных по измерениям в Северном полушарии эмпирических моделей EP суббури.

Наличие токов между N- и S-полушариями давно предсказывается, но они до сих пор не наблюдались [2]. Разрабатываемая в рамках выполнения проекта модель отличается от известных аналогов тем, что в ней впервые учтены магнитосферно-ионосферные токи не одного, а двух полушарий. Можно сделать следующие выводы.

1. Подтверждена гипотеза об образовании в ходе EP ранее неизвестной ячеистой структуры распределения в ионосфере плотности и интенсивности ПТ, соединяющих магнитосферу и полярную ионосферу. Ячейки образуются внутри каждой из шести подзон втекающего или вытекающего ПТ модели Ииджимы и Потемры (ИП). Система ячеек ассоциируется с известной фундаментальной системой магнитных пузырей в плазменном слое хвоста.

3.3.5. Проведен анализ ионосферных эффектов бури св. Патрика над Азиатским регионом РФ по данным комплекса инструментов

Задача исследования процессов в верхней атмосфере Земли во время мощных возмущений является одним из методов проверки и развития моделей взаимодействия в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера. Особенно важны при этом результаты комплексных исследований, в которых проводится многосторонний анализ наблюдаемых эффектов по данным комплекса инструментов.

Проведен комплексный анализ данных высокочастотного когерентного радара, расположенного вблизи Екатеринбурга (ЕКВ-радар), наземных ионосферных, риометрических и магнитных станций, находящихся в поле зрения радара и его окрестности, а также восьми радиотрасс, пересекающих Азиатский регион России. По этим данным изучена динамика ионосферных возмущений в широком долготном секторе в течение двухступенчатой сильной геомагнитной бури 17–19 марта 2015 г. и определены основные механизмы их генерации. Показано, что 17 марта во время главной и ранней восстановительной фаз бури основной вклад в генерацию ионосферных возмущений внесли экваториальное расширение вихрей магнитосферной конвекции и ударная ионизация атмосферы выпадающими магнитосферными частицами. Это привело к появлению интенсивных спорадических слоев, чередующихся с областями полного поглощения. Основной особенностью бури была большая ширина зоны авроральных высыпаний, экваториальная граница которой достигла геомагнитной широты $\sim 45^\circ$. Эта особенность могла быть вызвана сильной изменчивостью межпланетной среды, воздействовавшей на магнитосферу 17–19 марта.

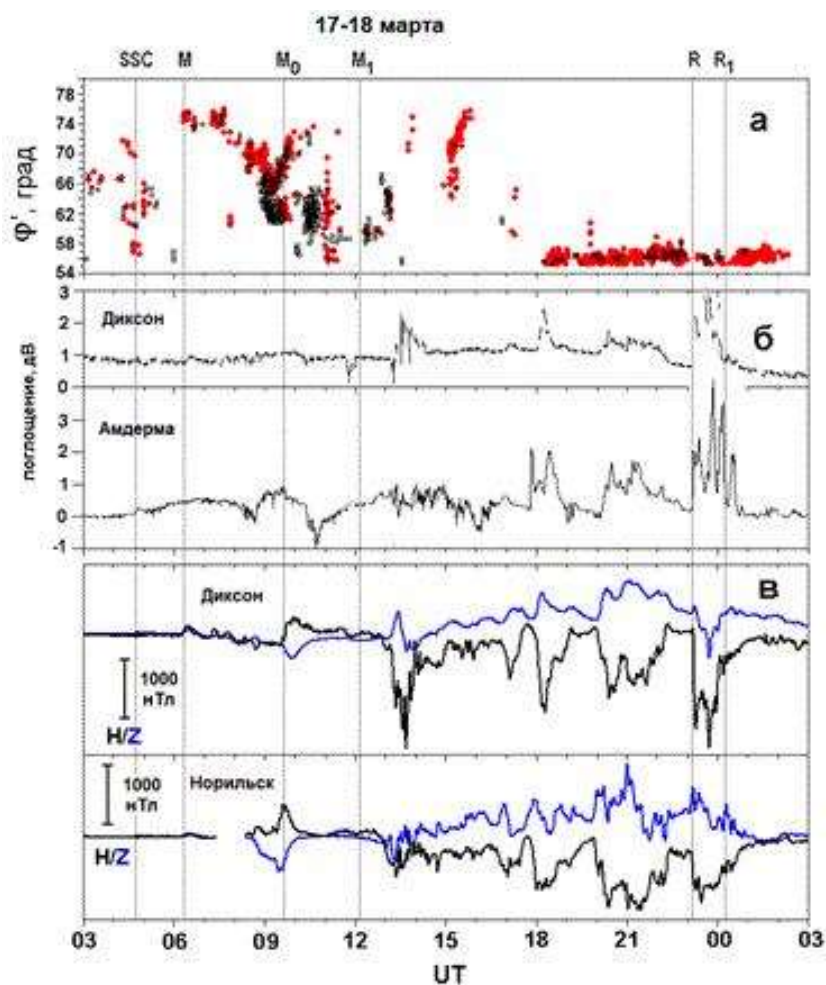


Рис. 82. Исправленная геомагнитная широта рассеивающих ионосферных неоднородностей, построенная по данным ЕКВ-радара (а); поглощение космического радиошума (б); H -компонента (черная кривая) и Z -компонента (синяя кривая) магнитного поля в полярных широтах (в). Красными точками показаны неоднородности, дрейфующие в направлении от радара, черными — к радару

3.3.6. Создана база обработанных данных радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН

Своевременная, желательно автоматическая, обработка данных и их автоматическое представление по запросу в удобной для исследователей форме является одной из основных задач современных мониторинговых экспериментов. Это позволяет получать доступ к результатам наблюдений без необходимости детального анализа форматов данных, что существенно облегчает интерпретаторам решение задач. Создание подобных баз стимулируют обмен данными между различными группами исследователей и расширяет возможности комплексного анализа событий, а также построения и проверки различных геофизических моделей.

В результате выполнения проекта создана база обработанных данных радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН. Сложность создания такой базы связана с большим объемом хранимой информации (>900 ГБ) и требованием быстроты выборки данных при достаточно произвольных запросах.

Тестирование методов доступа к таким объемам данных на основе как стандартных реляционных баз данных, так и баз NoSQL не дали эффекта ускорения доступа в связи с особенностями существующей организации сети. Более эффективным показал себя сервер реляционной базы данных MySQL с разбиением таблицы на отдельные файлы, разделяемые автоматически по времени измерения. Организованная в результате подобного подхода база данных обладает требуемым для работы быстродействием и обеспечивает выборку примерно за 10 с. Работа с базой данных осуществляется в пакетном режиме: получение пользователем данных в файловом табличном виде (ссылка на местоположение файла приходит на адрес электронной почты, указанный при запросе). База поддерживает широкий диапазон параметров для фильтрации и поиска данных.

В настоящее время ведутся ее финальные проверки, и в ближайшем будущем (до конца года) она будет доступна. На рис. 83 приведен общий вид интерфейса базы.

В настоящее время в базе содержатся данные о мощности, доплеровской скорости и спектральном уширении рассеянных сигналов, усредненных за период сканирования (порядка 6 с) в секторе обзора радара ЕКВ за весь период его функционирования с 2012 г. Предполагается, что создание подобной базы поможет в ближайшее время расширить число отечественных исследователей, заинтересованных в данных радара ЕКВ, и сможет стимулировать обмен данными и проведение совместных экспериментов с другими группами исследователей.

Рис. 83. Общий вид интерфейса базы обработанных данных радара ЕКВ

3.3.7. Список использованных источников

1. Akasofu S.-I. Auroral substorms as an electrical discharge phenomenon // Progress in Earth and Planetary Sci. 2015. V. 2. P. 20.
2. Laundal K.M., Østgaard N. Asymmetric auroral intensities in the Earth's Northern and Southern hemispheres // Nature. 2009. V. 460. P. 491–493. DOI: 10.1038/nature08154.

3.4. Создание сегмента мониторинга уровня ионосферных помех в Азиатском регионе России, связанных с естественными неоднородностями полярной ионосферы

Существование в высоких широтах неоднородностей, вытянутых вдоль магнитного поля Земли, приводит к возникновению на радиоустройствах особого вида помех — мощного радиосигнала, рассеянного на этих неоднородностях. Наличие такого сигнала (радиоавроры) приводит к помехам и сбоям в аппаратуре радиосвязи и радиолокации, а также в системах спутникового позиционирования. Поэтому задача создания систем мониторинга уровня таких ионосферных помех является актуальной и практически востребованной в разных задачах. В проекте мы проводили комплекс работ по созданию такой системы мониторинга в азиатской части РФ по данным радаров ИСЗФ СО РАН, по развитию методов диагностики высокоширотных эффектов, существенным образом влияющих на работу радиосистем в арктических областях РФ, а также по расширению отечественной сети радаров для мониторинга этих эффектов.

3.4.1. Проведен комплекс работ по развертыванию и тестовому запуску нового когерентного КВ-радара в п. Стекольный Магаданской области

Проведен комплекс работ по предварительной обработке данных ионосферных инструментов (ионозонды, магнитометры и риометры) в секторе обзора радара ЕКВ для отработки методов повышения точности локализации неоднородностей и развития моделей корректировки радарных данных. Проводилась также предварительная оценка электромагнитной совместимости нового радара с существующими средствами ИКИР ДВО РАН. Проведено подключение радара к электросетям, ведется заключение контракта на оплату электроэнергии.

В октябре 2017 г. проведен первый тестовый запуск радара (рис. 84), проведены тестовые измерения уровня электромагнитного излучения. В настоящее время ведутся работы по согласованию с Роспотребнадзором запуска радара. К другим работам относятся обеспечение электромагнитной совместимости радара с постоянно функционирующими измерительными средствами ИКИР ДВО РАН для минимизации уровня помех радара на данных магнитовариационных станций (проблема обнаружена во время тестового запуска радара в октябре 2017 г.), а также продление истекающих в 2017 г. разрешений на использование радиочастот.

Запланированное время запуска Магаданского радара в эксплуатацию — весна 2018 г.



Рис. 84. Общий вид радара MAGW (Магаданская область)

3.4.2. Одновременные исследования радиоаворы методом обратного рассеяния в КВ- и УКВ-диапазонах по данным радаров ИСЗФ СО РАН

Геофизический комплекс инструментов ИСЗФ СО РАН в настоящее время включает в себя два радара, способных к диагностике характеристик радиоаворы — Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР), ведущий разовые эксперименты по регистрации когерентного эха с 1998 г. [1] в ультракоротковолновом (УКВ) радиодиапазоне, и Екатеринбургский когерентный радар декаметрового диапазона (ЕКВ) ИСЗФ СО РАН, проводящий круглосуточный мониторинг подобных неоднородностей в коротковолновом (КВ) диапазоне с конца 2012 г. [2].

В связи с особенностями распространения сигнала радиоавора на радаре ЕКВ может наблюдаться в широком диапазоне дальностей и направлений, что упрощает задачу мониторинга самих неоднородностей, но усложняет задачу определения их параметров по данным радиозондирования, в существенной степени зависящих от характеристик фоновой ионосферы [3].

На рис. 85 показаны результаты удачных совместных наблюдений радиоаворы в период удачного эксперимента 08.06.2015 г. в 11:30–14:09 UT на радаре ЕКВ — мощность рассеянного сигнала (панели A1–J1) и доплеровская скорость неоднородностей (панели A2–J2) как функции географической широты и долготы, а также времени. Все рисунки выполнены схематично без калибровки диаграмм направленности радаров и учета процесса распространения радиосигнала в неоднородной ионосфере в предположении распространения вдоль дуги большого круга.

Видно, что интенсивная радиоавора, характеризующаяся высокой мощностью и высокими доплеровскими скоростями появляется в 11:45 UT в виде относительно малой локализованной области и дрейфует в экваториальном направлении. Как будет показано далее, характерные доплеровские скорости неоднородностей достигают 700 м/с и характерны для радиоаворы высот F-слоя в существенно возмущенных условиях.

На рис. 86, B–D показано поведение основных параметров, получаемых на радаре ЕКВ, безотносительно к направлению зондирования. Показана мощность рассеянного сигнала (панель B) и доплеровская скорость рассеивающих неоднородностей (панель C) как функция географической широты.

В результате выполнения работы показано, что основным вероятным механизмом, определяющим динамику основного хода интенсивности УКВ-радиоаворы в период 11:00–13:00 UT на радаре ИРНР является групповое движение локализованной области высоких электрических полей от высоких широт к низким, подтверждающееся по данным спутников DMSP. Эти поля проявляются в появлении декаметровых неоднородностей, которые видны в данных КВ-радаров, но не могут быть привязаны к конкретной высоте по данным проведенного эксперимента и появлению неоднородностей E-слоя, проявляющихся в данных УКВ-радаров.

Показано, что радиоавора на радаре ЕКВ наблюдалась на 6–12 мин раньше, чем на радаре ИРНР, что связано с более широким сектором обзора радара ЕКВ в области более высоких широт. Это может быть использовано для построения методик предсказания появления радиоаворы на УКВ-радаре ИРНР по данным КВ-радаров ЕКВ при проведении совместных экспериментов.

Разработанные в работе методы позволили повысить точность географической привязки измерений радиоаворы на радарах ИРНР и ЕКВ и могут в дальнейшем применяться для интерпретации и проведения совместных и отдельных измерений радиоаворы на радарах ИРНР и ЕКВ.

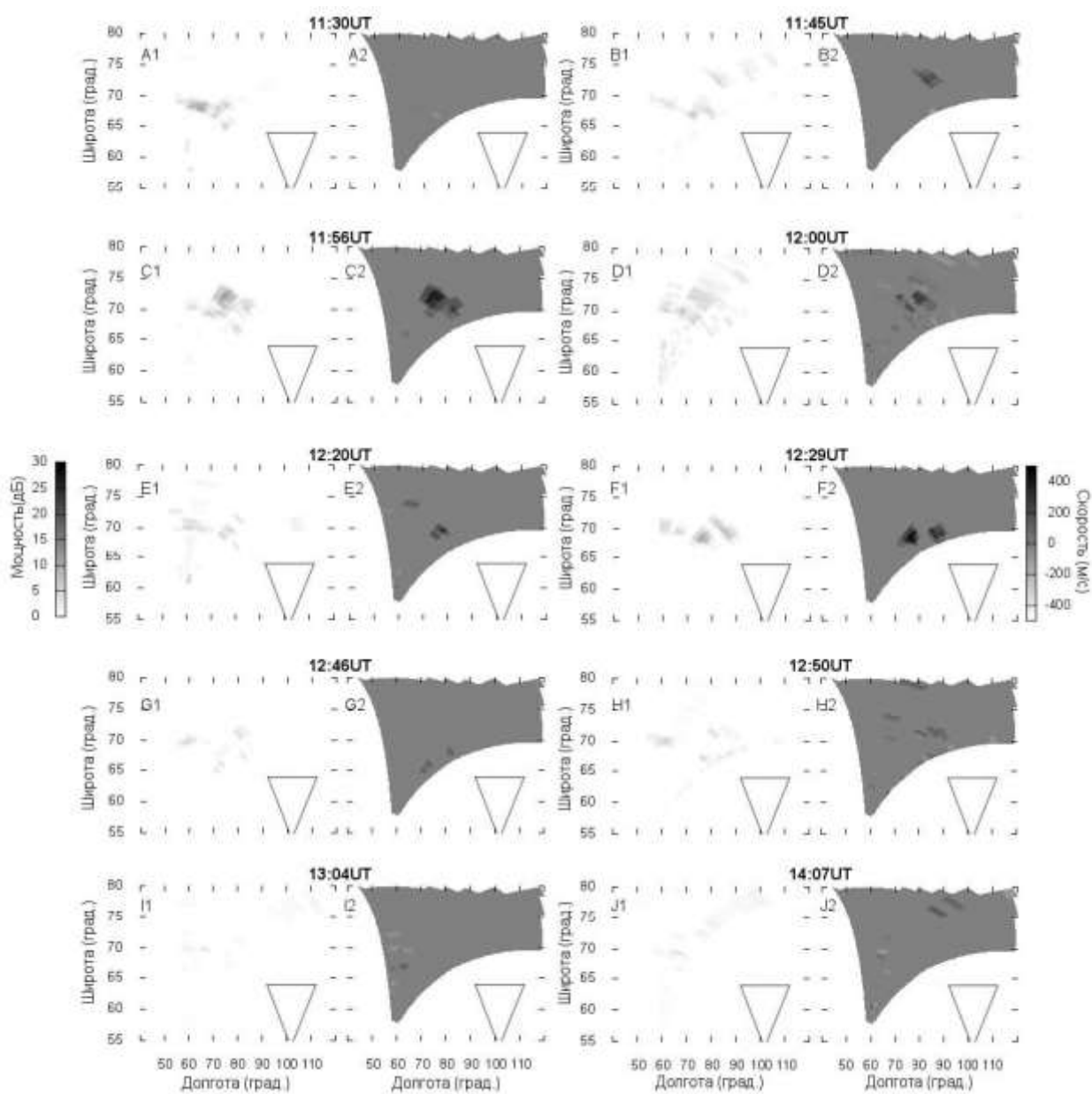


Рис. 85. Результаты наблюдений радиоавроры на радаре ЕКВ 08.06.2015 г. Рисунки с меткой 1 соответствуют мощности рассеянного сигнала в секторе обзора радара, а рисунки с меткой 2 - доплеровской скорости неоднородностей. Треугольником обозначена примерная диаграмма направленности ИРНР на нижних лепестках

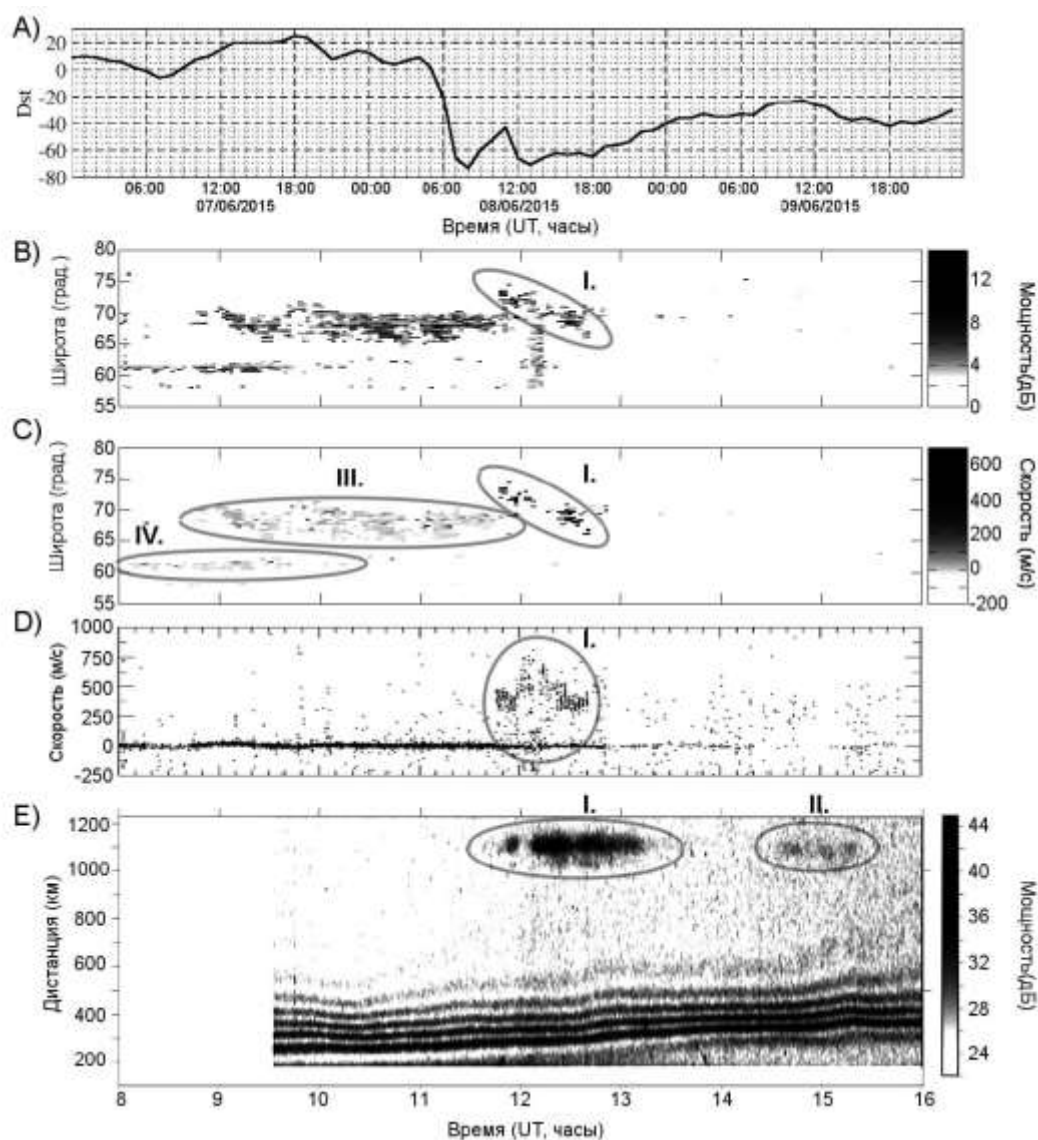


Рис. 86. Поведение Dst в период 7–09.06.2015 г. по данным WDC Kyoto (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>) (A); результат наблюдений радара ЕКВ (B–D): мощность рассеянного сигнала (B); доплеровское смещение частоты (в единицах эквивалентной скорости) как функция широты рассеяния и времени; мощность рассеянного сигнала на радаре ИРНР (E). I, II, IV — зоны радиоавроры, III — область сигналов возвратно-наклонного зондирования

3.4.3. Исследование влияния рентгеновских вспышек на уровень шума, измеряемый когерентными радарными в диапазоне 8–20 МГц

Регулярные наблюдения за уровнем радишумов на радаре ЕКВ позволили нам предположить, что большая часть шума неба производится наземными источниками и большая часть шума поступает из источников, расположенных на расстояниях выше радиуса мертвой зоны посредством небесной волны (земная волна в КВ-диапазоне сильно спадает с расстоянием). Таким образом, шум передается источником, распространяется небесной волной, отражается от ионосферы и поглощается на высотах D-слоя.

Чтобы проверить эту гипотезу, мы использовали данные десять среднеширотных когерентных декаметровых радаров Северного полушария: девять радаров SuperDARN (Super Dual Auroral Radar Network [4]) и радар ЕКВ ИСЗФ СО РАН [2]. На рис. 87 показаны координаты радаров и их сектора обзора. Радиолокаторы могут регистрировать уровень шума на наименее шумной частоте, что позволяет проводить последующий анализ уровня шума. Регулярное временное разрешение радаров составляет 1–2 мин.

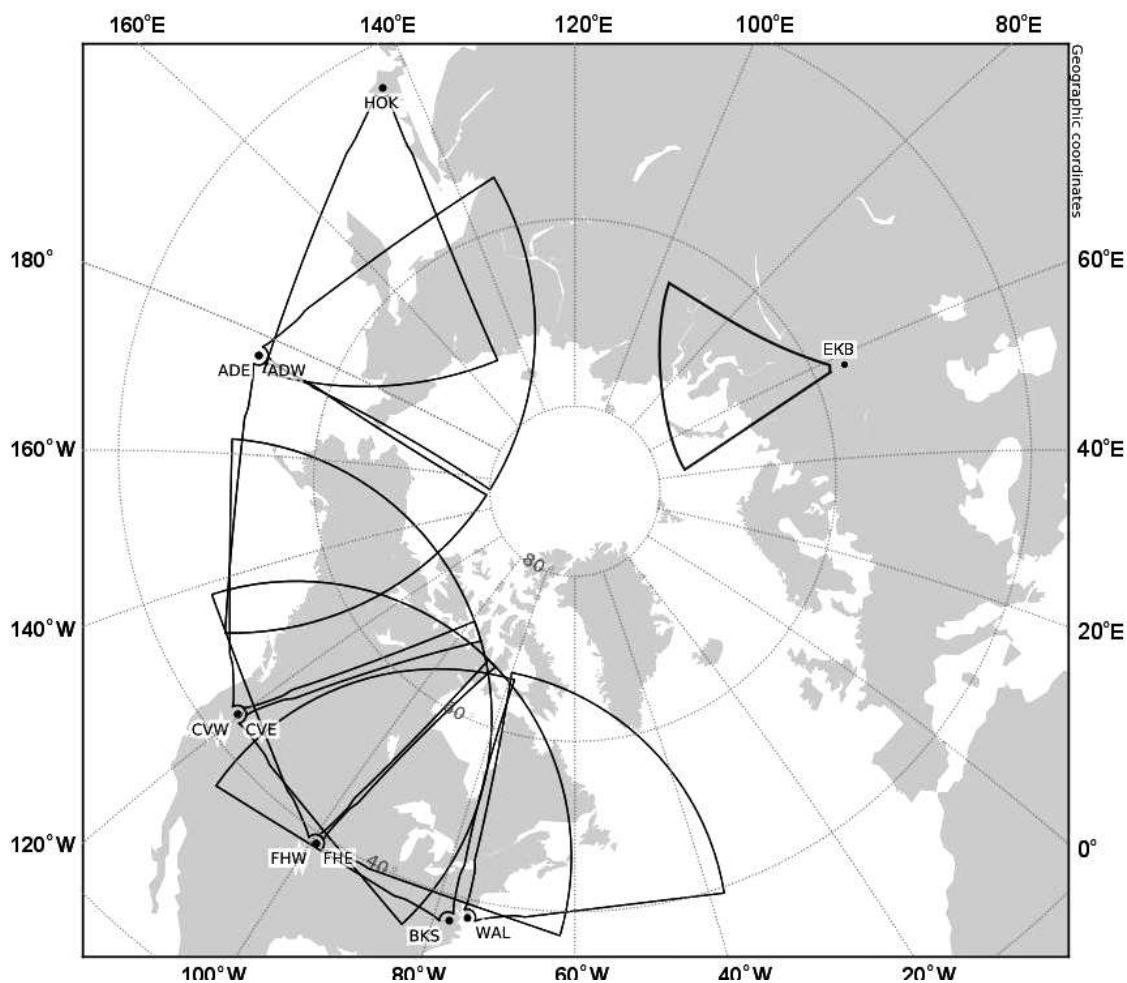


Рис. 87. Геометрия расположения радаров, используемых в работе, и их сектора обзора

На совместном анализе данных 10 среднеширотных декаметровых радаров исследованы эффекты 80 рентгеновских вспышек в 2013–2017 гг. Показано, что в 88.3 % случаев рентгеновской вспышки на дневной стороне наблюдается ослабление радишума, коррелирующее с временной динамикой солнечной вспышки. Интенсивность декаметрового шума хорошо коррелирует (коэффициент корреляции Пирсона выше -0.5 , рис. 88) с формой рентгеновской вспышки в дневное время (для угла возвышения Солнца >0) в 33 % случаев. Средний коэффициент корреляции Пирсона в дневное время составляет -0.34 . Средний коэффициент регрессии между интенсивностью рентгеновского излучения GOES 0.1–0.8 нм и затуханием шумов в дневное время около $-4.4 \cdot 10^4$ дБ·м²/Вт]. Таким образом, было показано, что измерения уровня декаметрового шума на среднеширотных декамет-ровых радарх могут использоваться для изучения ионосферного поглощения высокочастотных волн в нижней ионосфере при рентгеновских солнечных вспышках. Это можно объяснить предположением, что большая часть декаметрового шума неба, обнаруживаемого радаром, может быть интерпретирована как создаваемая наземными источниками на расстояниях первого скачка распространения (~ 3000 км).

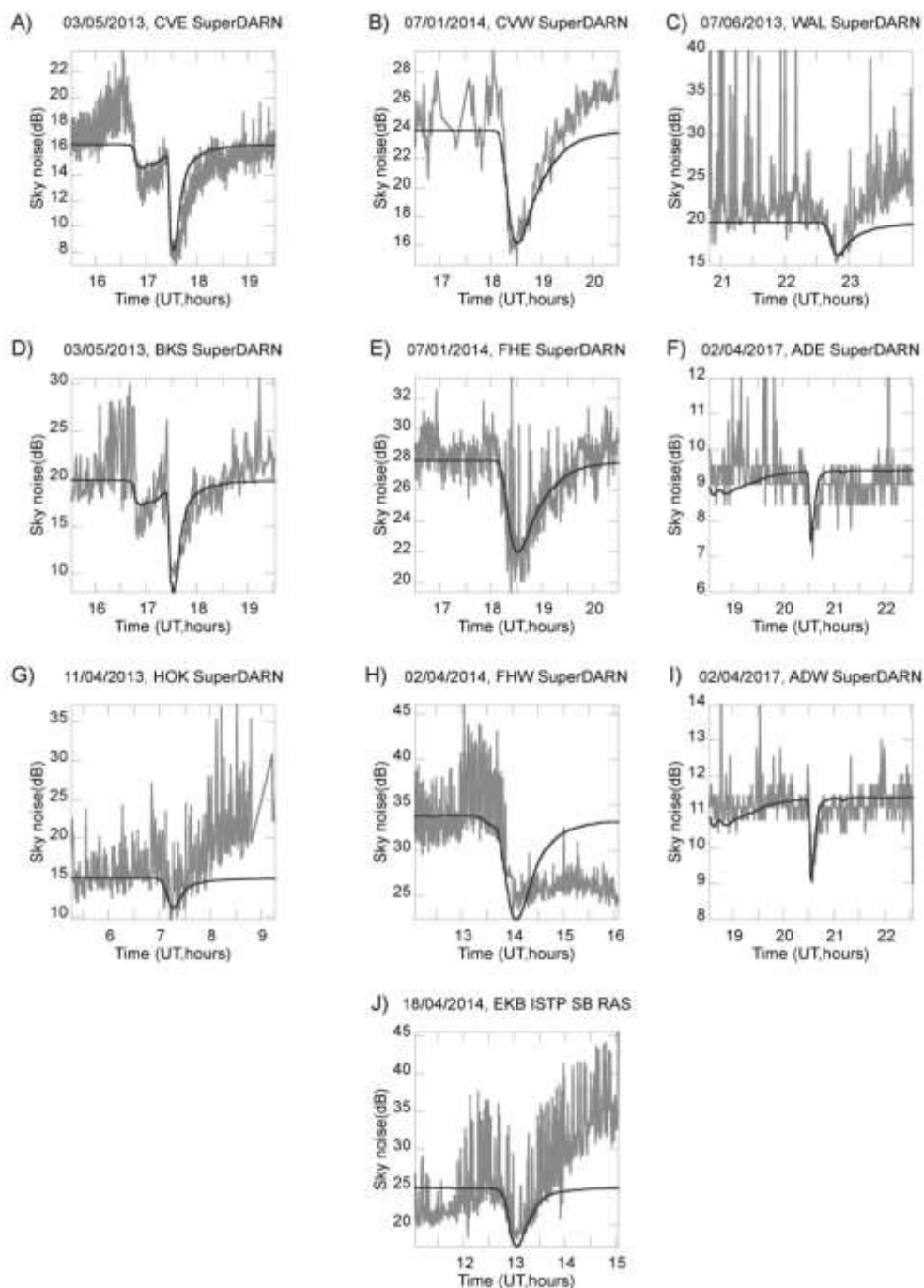


Рис. 88. Сравнение динамики уровня КВ-шума по данным радаров SuperDARN (А–І) и радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН (J) (серые линии) и динамики интенсивности рентгеновского излучения по данным GOES, инвертированной по знаку

3.4.4. Апробирован индекс авроральных отражений по данным радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН и введена в строй система круглосуточного мониторинга этого индекса

Из рис. 89 видно, что бывают случаи, когда радиоаврору можно наблюдать почти одновременно в нескольких диапазонах частот. Это позволяет использовать КВ-радар как источник данных для прогноза появления радиоавроры на УКВ-радаре.

В этом случае наблюдаемая доплеровская скорость на радаре ЕКВ является следствием $E \times V$ дрейфа [4] и может быть использована для оценок соответствующей составляющей электрического поля и, как следствие, для оценок интенсивности радиоавроры в УКВ-диапазоне [5, 6].

Таким образом, для изучения радиоаворы на УКВ-радаре ИРНР желательно иметь систему круглосуточного мониторинга радиоаворы, заблаговременно предупреждающей о возникновении магнитоориентированных неоднородностей. Когерентный радар ЕКВ ИСЗФ СО РАН весьма удобен для этого: большой сектор обзора, хорошее временное и пространственное разрешение, работа в режиме круглосуточного мониторинга. Однако это несет и неудобства: сложно ввести автоматический критерий, характеризующий интенсивность наблюдаемой радиоаворы.

Для решения этой задачи нами был введен индекс интенсивности радиоаворы (AI) имеющий вид

$$AI = S_{\text{radioaurora}} / S_{\text{full}} \quad (1)$$

где $S_{\text{radioaurora}}$ — площадь, занимаемая радиоаворой, определенной по условию (1); S_{full} — полная площадь сектора обзора радара.

Введение индекса AI удобно из-за его нормированности: он всегда лежит в пределах 0–100 %, причем 0 означает отсутствие радиоаворы, а 100 % — ее присутствие на любой дальности и любом азимуте в поле зрения радара.

Для оценки уровней, в среднем соответствующих появлению радиоаворы был проведен статистический анализ полученного индекса. На рис. 89, *A* показан ход индекса с временным разрешением 6 мин за 2016–2017 гг. Как показал анализ (распределение индекса приведено на рис. 89, *B*), медианное значение индекса за два года составляет 0.22 %, а среднее — ~0.5 %. Это позволяет выбрать значение 0.5 % в качестве граничного, разделяющего периоды отсутствия и присутствия радиоаворы. На рис. 89, *A* эти два случая отмечены цветом.

В настоящее время индекс радиоаворы введен в эксплуатацию на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН и доступен в режиме реального времени на сайте [<http://dep1.iszf.irk.ru>].

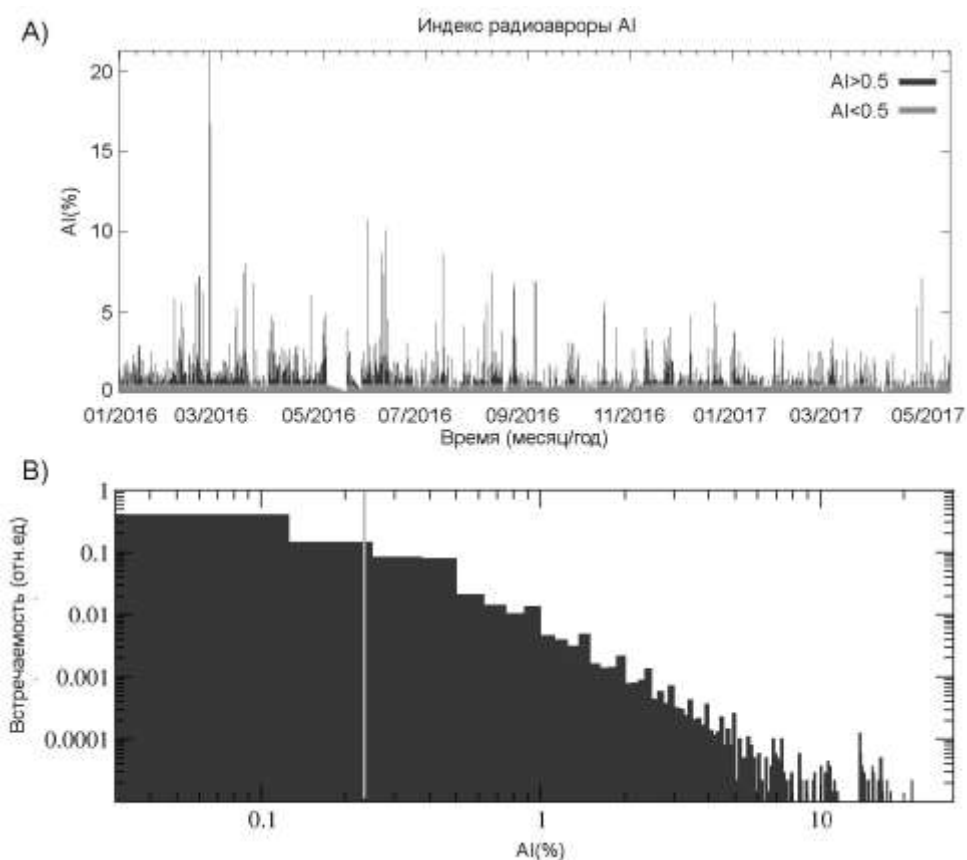


Рис. 89. Индекс радиоаворы за 2016–2017 гг. по данным радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН: как функция времени (*A*); распределение индекса радиоаворы по значениям (*B*). Вертикальная линия соответствует медианному значению

3.4.5. Список использованных источников

1. Potekhin A.P., Berngardt O.I., Kurkin V.I., Shpynev B.G., Zhrebtsov G.A. Observations of abnormally powerful scattering with ISTP IS radar // Proc. SPIE 3983. Sixth International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. November 19, 1999. P. 328–335.
2. Berngardt O.I., Zolotukhina N.A., Oinats A.V. Observations of field-aligned ionospheric irregularities during quiet and disturbed conditions with EKB radar: first results // Earth, Planets and Space. 2015. V. 67. P. 143.
3. Berngardt O.I., Kutelev K.A., Potekhin A.P. SuperDARN scalar radar equations // Radio Sci. 2016. V. 51. N 10. P. 1703–1724.
4. Chisham G., Lester M., Milan S.E., Freeman M.P., Bristow W.A., Grocott A., McWilliams K.A., Ruohoniemi J.M., Yeoman T.K., Dyson P.L., Greenwald R.A., Kikuchi T., Pinnock M., Rash J.P.S., Sato N., Sofko G.J., Villain J.-P., Walker A.D.M. A decade of the Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN): scientific achievements, new techniques and future directions // Surveys in Geophysics. 2007. V. 28. N 1. P. 33–109.
5. Grkovich K.V., Berngardt O.I. Determining the parameters of the layer of scattering irregularities, forming coherent echo, according to the Irkutsk IS Radar data // Geomagnetism and Aeronomy. 2009. V. 49. N. 8. P. 1231–1239.
6. Foster J.C., Erickson P.J., Simultaneous observations of E-region coherent backscatter and electric field amplitude at F-region heights with the Millstone Hill UHF Radar// GRL. 2000. V. 27. N 19. P. 3177–3180.
7. <http://dep1.iszf.irk.ru>

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

3.5.1. Количественные оценки потоков тепла на границах океан–атмосфера–суша

На данном этапе проекта мы ограничились исследованием изменений потоков тепла в системе океан—атмосфера в период климатического сдвига (КС) 1976–1977 гг. В большом количестве работ было показано, что этот сдвиг главным образом проявился в изменении атмосферной циркуляции в Тихоокеанском регионе. В связи с этим представляют научный интерес рассмотрение и анализ изменения характеристик океана и атмосферы в период КС.

Временной ход изменений потоков тепла на границе океан—атмосфера и значений температур поверхности океана и воздуха над ним для низкоширотной области Тихого океана показан на рис. 90. Данный регион был выбран для исследования, так как именно здесь наблюдается аномально высокое испарение. В изменениях потоков явного Q_H и скрытого Q_E тепла (рис. 90, а) прослеживается квазипериодическое колебание ~30 лет, при этом до КС амплитуда этого колебания превосходила амплитуду после КС. Для потоков тепла коротковолновой (КВ) радиации, поступающей в океан, и длинноволновой (ДВ), излучающейся с поверхности океана (рис. 90, б), изменения носят следующий характер. Для ДВ-радиации отмечается увеличение потока до КС, которое сменилось ступенчатым понижением после КС. Для КВ-радиации отмечается увеличение потока к 1983 г. (до -207 Вт/м^2) и его последующее понижение к 2000 г. (до -196 Вт/м^2).

График разности между температурой поверхности океана (ТПО) и приповерхностной температурой воздуха над океаном (ПТВО) (рис. 90, в) отражает изменения эффективности теплообмена в системе океан—атмосфера (потоков тепла Q_H и Q_E), при этом в период до КС разность температур была выше, чем после.

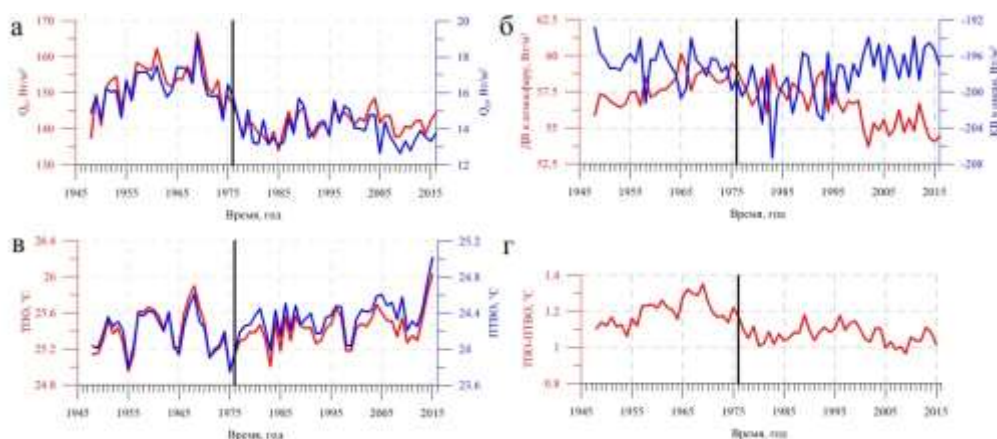


Рис. 90. Долговременные изменения среднегодовых характеристик в Тихоокеанском регионе (10° – 30° N, 160° E – 130° W): потоки скрытого (синяя линия) и явного (красная линия) тепла (а); потоки длинноволновой (красная линия) и коротковолновой (синяя линия) радиации (б); ТПО (красная линия) и ПТВО (синяя линия) (в); разность температур между ТПО и ПТВО (г). Вертикальной черной линией отмечен год КС (1976)

3.5.2. Изучение связи между характеристиками общей циркуляции атмосферы (ОЦА), региональным ветровым напряжением, ТПО и изменениями ТСМО

Как продолжение исследования пространственно-временных изменений термодинамических характеристик Мирового океана, выполненных на предыдущих этапах проекта, проведен анализ пространственной структуры изменений ветрового напряжения в периоды до климатического сдвига (1955–1976 гг.) и после (1977–2000 гг.) (рис. 91). Карты аномалий ветрового напряжения наглядно показывают, что характер атмосферной циркуляции в исследуемом регионе изменился. В 1955–1976 гг. (рис. 91, а) отмечается антициклонический тип циркуляции на средних широтах, способствующий формированию положительных аномалий температур. В 1977–2000 гг. (рис. 91, б) отмечается меридиональный перенос воздушных масс от высоких широт к низким, который приводит к понижению температур.

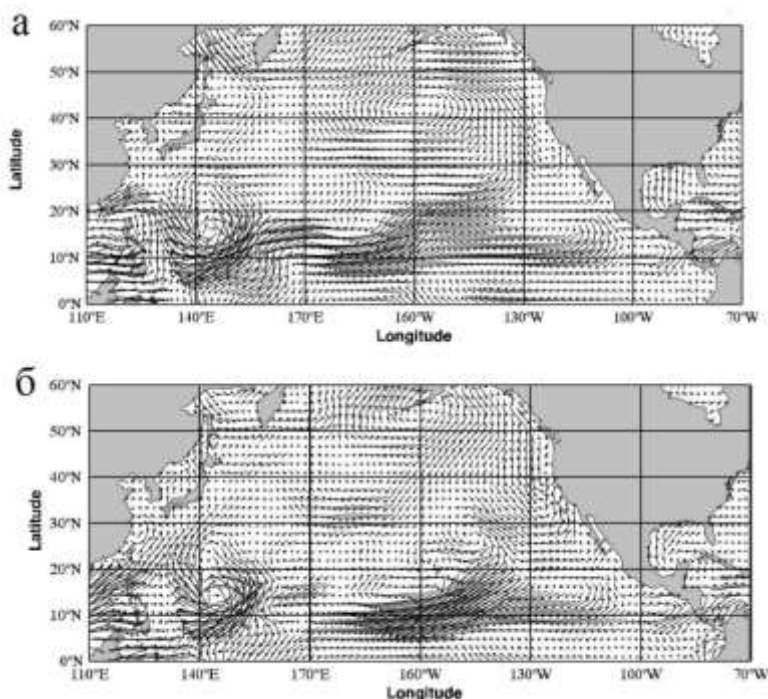


Рис. 91. Аномалии ветрового напряжения в Тихом океане (Северное полушарие) в 1955–1976 гг. (а) и 1977–2000 гг. (б)

Данные результаты согласуются с механизмами, ответственными за изменения циркуляционных режимов в Тихом океане. Суть этих механизмов сводится к тому, что в периоды, когда структура ветрового напряжения соответствует антициклонической, отмечаются положительные аномалии температур, а в периоды противоположных изменений в атмосферной циркуляции происходит смена положительных аномалий температур на отрицательные.

Как понижение, так и повышение аномалий поверхностной температуры обусловлено изменением направления ветрового напряжения, приводящим к усилению или ослаблению вертикального перемешивания.

3.5.3. Изучение особенностей механизма влияния СА на тропосферу. Разработка параметризации физического механизма влияния СА на тропосферу для модели ОЦА

3.5.3.1. Особенности механизма влияния СА на тропосферу

На основе комплексного анализа данных наблюдений и разрабатываемой в ИСЗФ СО РАН модели влияния солнечной активности (СА) на климатическую систему выявлен достоверный отклик в основных климатических характеристиках (приземная температура воздуха, температура поверхности океана) на воздействие солнечной активности. Обнаружены регионы в Мировом океане, для которых долговременные изменения температуры определяются в основном вариациями солнечной активности.

Показано, что солнечная активность внесла значительный вклад в изменения глобального климата в основном в период первого потепления в XX веке (1910–1944 гг.). Существующие климатические модели не воспроизводят данного увеличения температуры. В этот период антропогенный фактор практически отсутствует, в то время как уровень геомагнитной активности характеризуется значительным положительным трендом, максимальным за весь рассмотренный временной интервал (1868–2015 гг.) (рис. 92). Наряду с этим в период первого потепления наблюдается аномально усиленный меридиональный перенос тепла в Северной Атлантике.

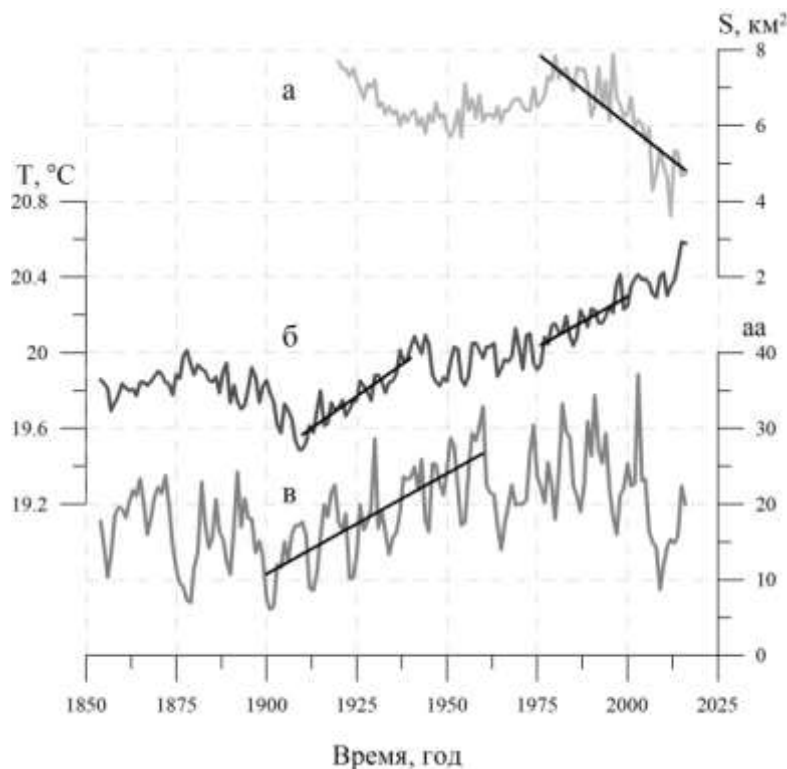


Рис. 92. Долговременные изменения площади льда в Арктическом бассейне для сентября (а); температуры поверхности океана ($60^{\circ}\text{N} - 60^{\circ}\text{S}$; $0^{\circ} - 360^{\circ}\text{E}$) (б); aa-индекса геомагнитной активности (в)

3.5.3.2. Параметризация физического механизма влияния СА на тропосферу для модели ОЦА

В ИСЗФ СО РАН предложен механизм воздействия гелиогеофизических возмущений на тропосферу. Согласно ему, наибольшее влияние на состояние тропосферы оказывают солнечный ветер с вмороженным магнитным полем и солнечные космические лучи. В результате этого изменяется разность электрического потенциала между ионосферой и землей, приводя к изменению вертикального профиля объемного электрического заряда. Изменение разности электрического потенциала пространственно неоднородно и зависит от локального времени. Перестройка вертикального профиля объемного электрического заряда приводит к изменению кластерного состава водяного пара, а в областях, где парциальное давление водяного пара близко давлению насыщающих паров, происходит фазовый переход. При увеличении разности потенциалов между ионосферой и Землей возрастает объемный заряд и вследствие роста концентрации ионов увеличивается средний размер водяных кластеров, что сопровождается усилением парникового эффекта в областях, где оптическая толща в инфракрасном диапазоне больше единицы. Однако в областях, где оптическая толща меньше единицы, будет наблюдаться ослабление парникового эффекта. Таким образом, неоднородное пространственное распределение водяного пара и особенности изменения разности потенциалов между ионосферой и Землей приводят к тому, что во время гелиогеофизических возмущений в областях с повышенным содержанием водяного пара будет наблюдаться увеличение температуры, а в областях с пониженным содержанием — уменьшение температуры.

В Институте физики атмосферы (ИФА РАН) разработана климатическая модель CLIMBER-2. Эта модель состоит из блоков, описывающих атмосферу, океан, морской лед, процессы происходящие на поверхности суши, растительность и глобальный углеродный цикл. Она позволяет рассматривать временные масштабы, начиная с сезонных вариаций и больше. Для включения в климатическую модель CLIMBER-2 описанного выше физического механизма воздействия солнечной активности на климатическую систему с целью проверки его работы и дальнейшего изучения была разработана параметризация этого механизма, учитывающая особенности модели CLIMBER-2. В качестве параметра, характеризующего воздействие солнечной активности на климатическую систему, в первом приближении, можно использовать AA -индекс геомагнитной активности, так как он в значительной степени определяется солнечной активностью. Параметризовать влияние солнечной активности на фазовый переход водяного пара (формирование облачности) можно, заменив, используемую в CLIMBER-2 величину r на $a_{01}r$, где $a_{01} = \{1 + AA \cdot a_{02} \exp[-(L_0 - L)^2 / L_1^2]\}$; a_{02} — константа, свободный параметр механизма ($\sim 10^{-3}$); L — географическая широта; L_0 — географическая широта максимального воздействия ($L_0 \sim 65^\circ$ географической широты); L_1 — полуширина зоны воздействия ($L_1 \sim 20^\circ$).

Учет воздействия солнечной активности на уходящий поток длинноволновой радиации для климатической модели CLIMBER-2 в соответствии с механизмом, предложенным в ИСЗФ СО РАН, можно осуществить, представив параметр a_0 модели CLIMBER-2 в виде

$$a_0 = a_{00} \{1 + AA \cdot a_{03} \exp[-(L_0 - L)^2 / L_1^2]\},$$

где a_0 — новое значение параметра; a_{00} — старое значение; a_{03} — константа, свободный параметр механизма ($\sim 10^{-3}$). Экспоненциальный множитель параметризует зависимость воздействия солнечной активности на тропосферу от географической широты.

3.5.4. Исследование связи динамики вертикального профиля температуры и влажности воздушных масс внетропических циклонов с геомагнитными возмущениями

На основе данных архива NCER/NCAR reanalysis проведен анализ динамики вертикального профиля удельной и относительной влажности в теплом и холодном секторах

внетропических циклонов во время их эволюции в возмущенных геомагнитных условиях. В качестве характеристики геомагнитных возмущений был выбран планетарный индекс геомагнитной активности *aa* [<http://www.ngdc.noaa.gov>]. С использованием *aa*-индекса ($aa > 20$) проведена выборка возмущенных дней в годы минимумов солнечной активности (1964, 1975, 1976, 1986, 1996). Для полученных дат на основе данных реанализа NCEP/NCAR [<http://www.esrl.noaa.gov/psd>] построены наборы карт поля температуры и ветра на уровне 500 гПа. Далее по картам определялись координаты центров теплой и холодной воздушных масс, относящихся к одному циклону, с учетом центров циклонов электронного ресурса NASA [<http://data.giss.nasa.gov>]. Дополнительным условием отбора циклонов являлось совпадение моментов начала геомагнитного возмущения и возникновения циклона. Данное условие определялось из предположения, что геомагнитная активность окажет максимальное влияние во время начальной стадии развития циклона. Во время заключительного этапа отбора были получены вертикальные профили температуры, удельной и относительной влажности в зоне центров теплого и холодного секторов циклона.

Для анализа динамики водяного пара в секторах внетропических циклонов во время их эволюции в возмущенных геомагнитных условиях рассмотрены изменения вертикального профиля характеристик влажности и температуры во время циклогенеза. Вертикальные профили указанных характеристик, усредненные по 15 циклонам, нормированные относительно среднего уровня, наблюдавшегося в первые двое суток после начала геомагнитного возмущения показаны на рис. 93. Сравнительный анализ данных, приведенных на рис. 93, показал, что повышение температуры в теплом секторе и замедление прогрева холодного сектора сопровождается увеличением удельной влажности в теплом секторе при слабом ее понижении в нижней части холодного сектора и уменьшением относительной влажности воздушных масс при эволюции внетропических циклонов во время геомагнитных возмущений. Следовательно, изменения удельной и относительной влажности отражают физические механизмы связи между температурой и влажностью в обоих секторах циклонов. В приземном слое при возрастании температуры увеличивается давление насыщающих паров, а испарение и дальнейший подъем, как правило, обеспечивают необходимое поступление водяного пара в среднюю и верхнюю тропосферу. Поскольку водяной пар является парниковым газом, изменение количества водяного пара будет оказывать влияние на радиационный баланс.

Таким образом, проведенное исследование динамики вертикального профиля удельной и относительной влажности в секторах внетропических циклонов Северного и Южного полушарий во время их эволюции в возмущенных геомагнитных условиях позволило сделать следующие выводы.

1. Показано, что в отличие от классического циклогенеза во время геомагнитных возмущений создаются условия, при которых температура увеличивается в теплой воздушной массе, при этом температура холодной воздушной массы изменяется незначительно.
2. Обнаруженные отличия в изменении температурных свойств сопровождаются увеличением удельной влажности в теплом секторе и некоторым уменьшением в холодном секторе циклонов. При этом наблюдается уменьшение относительной влажности в секторах внетропических циклонов обоих полушарий при их эволюции во время геомагнитных возмущений.
3. Во время геомагнитных возмущений меняются температурно-влажностные свойства воздушных масс внетропических циклонов, что может привести к увеличению интенсивности и продолжительности жизни циклонов.

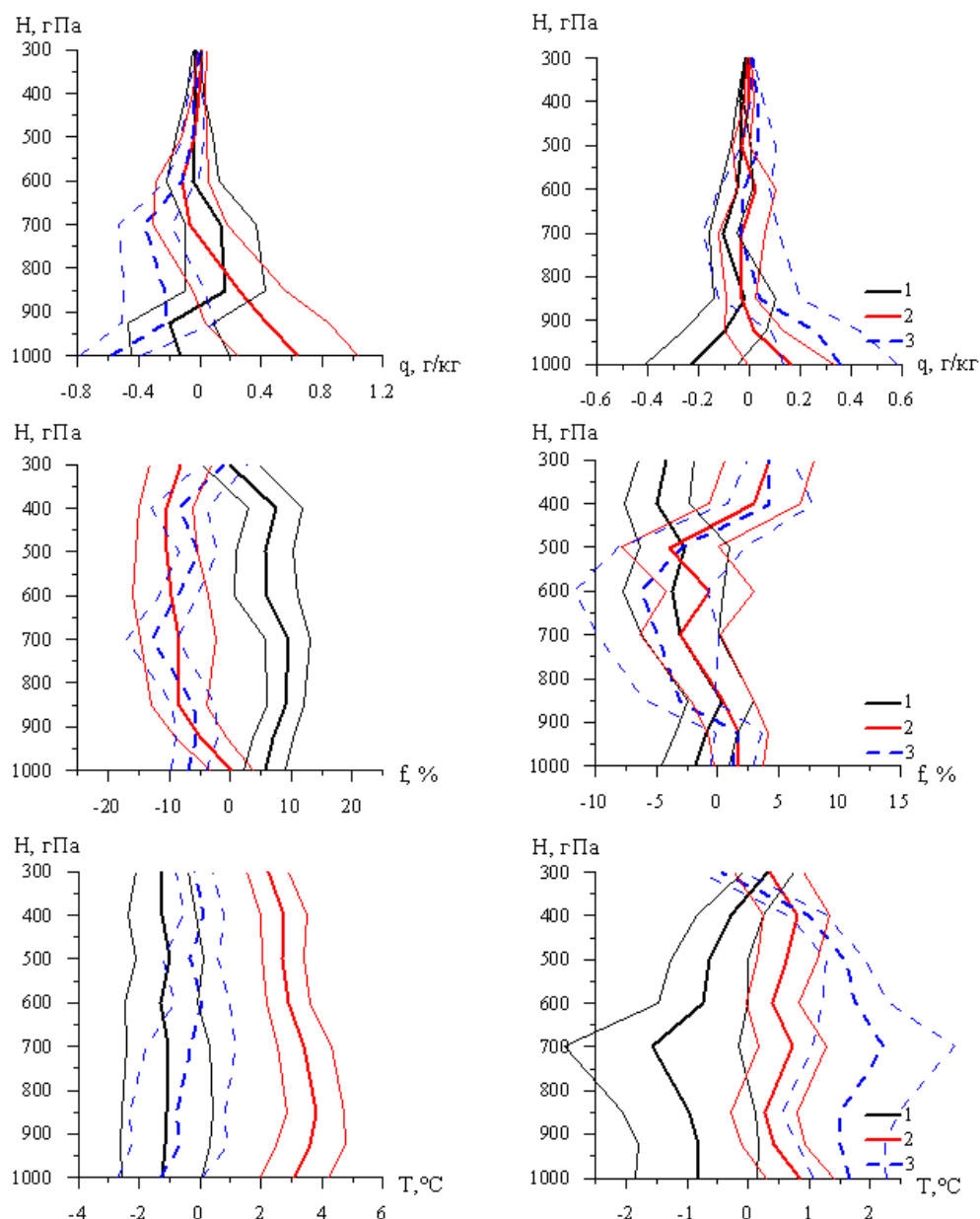


Рис. 93. Изменение вертикального профиля температуры T , удельной q и относительной f влажности воздуха в теплой (слева) и холодной (справа) воздушной массе во время циклогенеза в возмущенных геомагнитных условиях: 1 — начало геомагнитного возмущения, 2 — максимум геомагнитного возмущения, 3 — минимум геомагнитного возмущения (тонкими линиями обозначен 90 % доверительный интервал)

3.5.5. Исследование долговременных изменений блокингов и крупномасштабных барических аномалий в тропосфере и стратосфере Северного полушария. Исследование низкочастотной изменчивости атмосферных процессов в диапазоне от 10 суток до 1–2 месяцев

Ключевым звеном длительных погодных и климатических аномалий, тропосферным источником длинных планетарных волн в стратосфере и средней атмосфере являются так называемые блокинги — крупномасштабные аномалии барического поля, нарушающие средний зональный перенос и траектории синоптических вихрей в тропосфере. Особый интерес представляют блокинги в Центральной и Восточной Азии, так как именно здесь чаще всего наблюдается начальная фаза внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Некоторые особенности взаимодействий локальных образований с Полярным вихрем и стратосферным антициклоном во время ВСП могут быть проверены в простой квазигеострофической баро-

тропной нелинейной дивергентной модели циркуляции. Модель учитывает β -эффект, диффузию, обусловленную крупномасштабным трением и турбулентной вязкостью. В качестве начальных условий в модели задаются Полярный вихрь, стратосферные антициклоны (один или два), возмущение (циклоническое или антициклоническое), имитирующее барические аномалии, распространяющиеся из низких широт в высокие. Полярный вихрь и стратосферные антициклоны поддерживались внешним источником завихренности.

С помощью этой модели воспроизведены особенности меридионального дрейфа возмущений, распад Полярного вихря или его смещение в более низкие широты. Для численного решения уравнения использовался спектральный метод, шаг по времени составлял 0.01 сут, разложение ограничивалось гармоникой $n=13$ при треугольном усечении. На рис. 94 представлен пример расчета эволюции функции тока при задании в начальный момент времени Полярного вихря, антициклона и антициклонического возмущения с центром на широте 60° N. Подобная конфигурация барических аномалий наблюдается в стратосфере при некоторых ВСП. Полученные результаты, по крайней мере, при низком разрешении, не подтверждают исходное предположение о том, что локализованные возмущения при заданном распределении циклонов и антициклонов могут перемещаться к полюсу и приводить к разрушению Полярного вихря. Для подтверждения полученного результата необходимы эксперименты с более высоким пространственным разрешением.

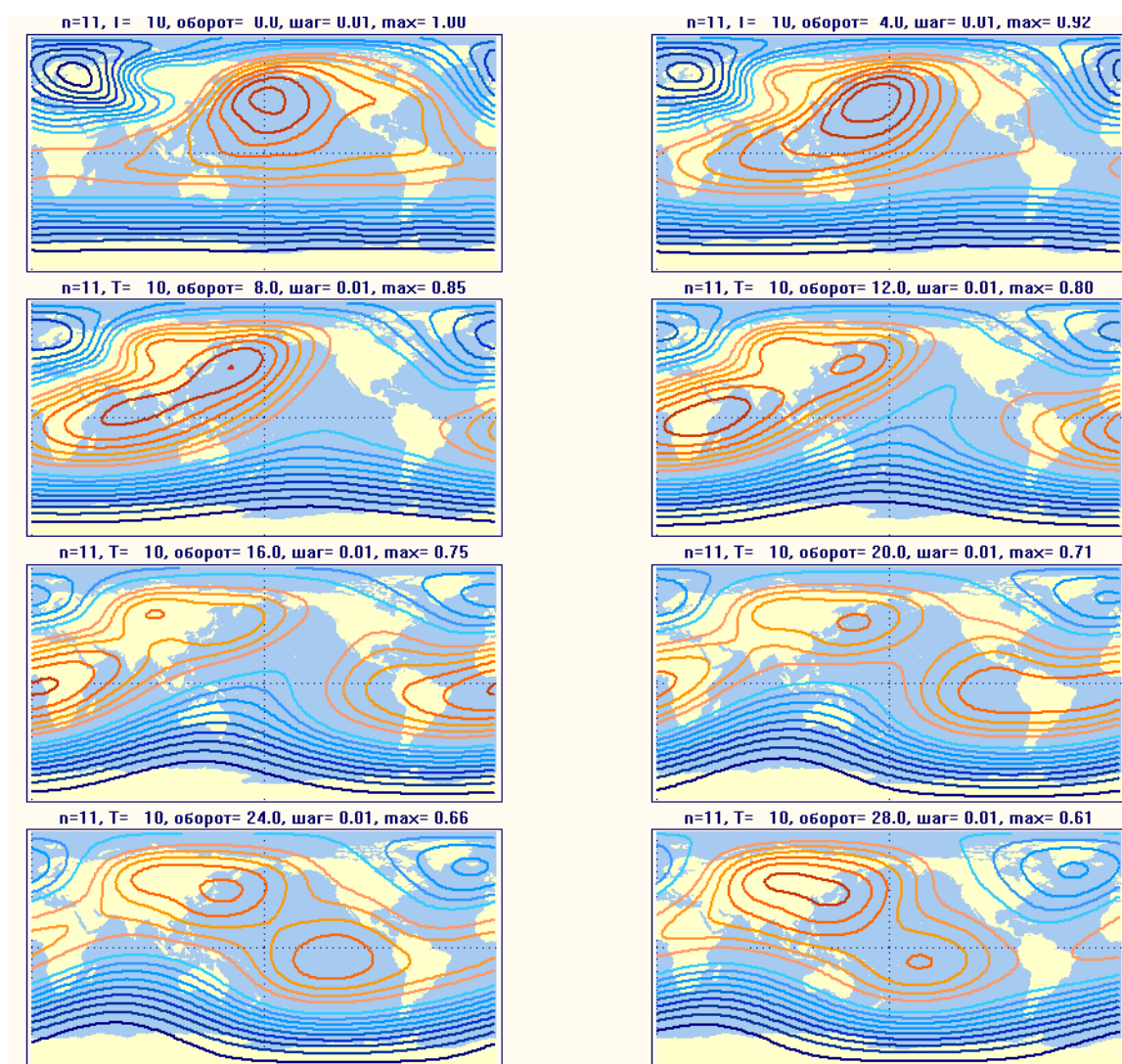


Рис. 94. Динамика распределений функции тока через 4 сут с шагом по времени 0.01 сут при задании количества гармоник в разложении $n=11$ при треугольном усечении. Кадры изменяются слева направо и сверху вниз

3.5.6. Исследование межгодовых и многолетних вариаций эмиссий верхней мезосферы–мезопаузы: атмосферная эмиссия атомарного кислорода [OI] 557.7 нм, эмиссия дуплета натрия NaI 589.0–589.6 нм

По данным измерений в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН выполнен анализ межгодовых и многолетних вариаций атмосферной эмиссии атомарного кислорода [OI] 557.7 нм за 1997–2017 гг. Анализировались вариации излучения верхней атмосферы Земли в линии атомарного кислорода 557.7 нм, а также вариации индекса $F10.7$ солнечной активности и индекса ONI явления Эль-Ниньо Южное Колебание (ЭНЮК). Выявлены корреляции между величинами интенсивности эмиссии [OI] 557.7 нм и индексами $F10.7$ и ONI . В результате анализа вариаций среднемесячных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм ($I_{557.7}$) и индекса ONI , характеризующего явления Эль-Ниньо/Ла-Ниньо, выявлена статистически значимая связь (коэффициент корреляции $k \approx 0.38–0.45$) между этими величинами, которая в ряде случаев нарушает прямую зависимость $I_{557.7}$ от уровня солнечной активности. В частности, во время продолжительного эпизода Ла-Ниньо 1999–2001 гг. вместо ожидаемого роста $I_{557.7}$ с ростом $F10.7$ отмечалась депрессия $I_{557.7}$ (рис. 95, а), а во время экстремального эпизода Эль-Ниньо 2015–2016 гг. наблюдалось усиление $I_{557.7}$ вместо ожидаемого его уменьшения с падением $F10.7$ (рис. 95, б). Показана связь $I_{557.7}$ с индексом ONI в предыдущие 18–22 солнечных циклы при анализе среднегодовых значений $I_{557.7}$ и индекса ONI . Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод, что многолетние и межгодовые вариации $I_{557.7}$ могут являться следствием совместного влияния солнечной активности и изменений глобальной циркуляции атмосферы.

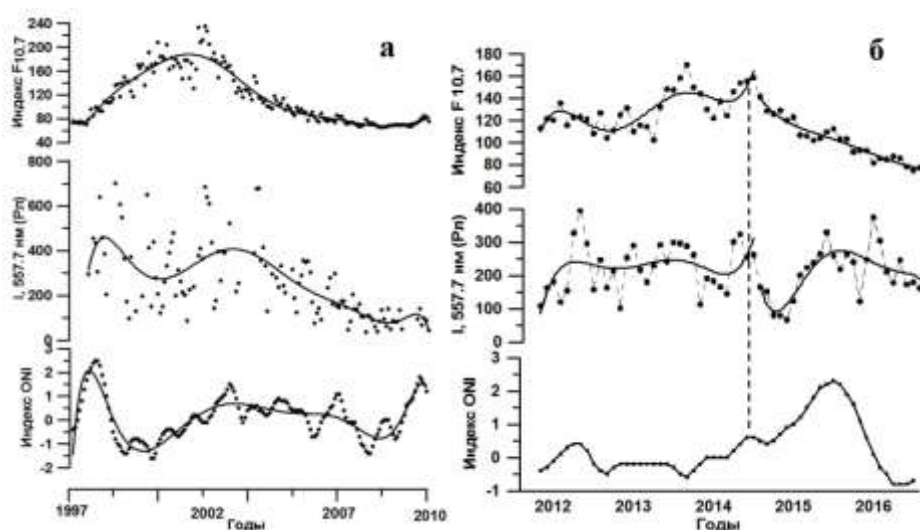


Рис. 95. Вариации среднемесячных значений (точки) индексов $F10.7$, ONI и интенсивности эмиссии [OI] 557.7 нм в 23-м (а) и 24-м (б) циклах солнечной активности. Сплошная линия — аппроксимация полиномом

3.5.7. Исследование аномального появления слоя F1 в зимних условиях

По данным Иркутского дигизонда DPS-4 за 2003–2016 гг. получены первые результаты статистического анализа появления слоя F1 в зимнее время в зависимости от уровня солнечной (СА) и геомагнитной активности. Слой F1 является нерегулярным образованием: он появляется только в освещенное время суток. Его появление носит ярко выраженный сезонный ход: наиболее благоприятные условия формирования реализуются в летнее время, в зимнее он наблюдается гораздо реже. Цель данного исследования состоит в изучении частоты появления слоя F1 в зимнее время и выяснении основных геофизических факторов, сопутствующих его возникновению.

Для исследования были использованы 15-минутные данные вертикального зондирования ручной обработки, полученные с помощью Иркутского цифрового дигизонда DPS-4 в 2003–2016 гг. Частота появления слоя оценивалась как отношение числа случаев регистрации слоя F1 в течение суток к общему числу сеансов зондирования (в %). Получено, что в зимних условиях высота слоя F1 варьирует в пределах 162–168 км (при этом среднеквадратичное отклонение не превышает 11 км), критическая частота меняется в диапазоне 3.4–3.8 МГц.

На рис. 96 показаны диаграммы частоты появления слоя F1 для трех зимних месяцев разных лет. Видно, что наибольшее число появлений слоя F1 наблюдается в феврале, наименьшее — в декабре. В первую очередь это обусловлено увеличением времени освещенности в течение суток. Отчетливо видно, что уже в январе слой F1 регистрируется чаще. Можно также отметить, что в годы низкой солнечной активности частота появления слоя F1 выше, чем в эпоху максимума. Это соответствует ранее полученным результатам. Появление в декабре и январе слоя F1 в годы умеренной и высокой СА, как правило, обусловлено ростом магнитной возмущенности. Известно, что во время магнитных бурь на этих высотах возрастает относительное содержание молекулярных ионов, что повышает вероятность появления слоя F1. Появление этого слоя в спокойных магнитных условиях в зимнее время, возможно, обусловлено другими процессами. Это является предметом дальнейших исследований.

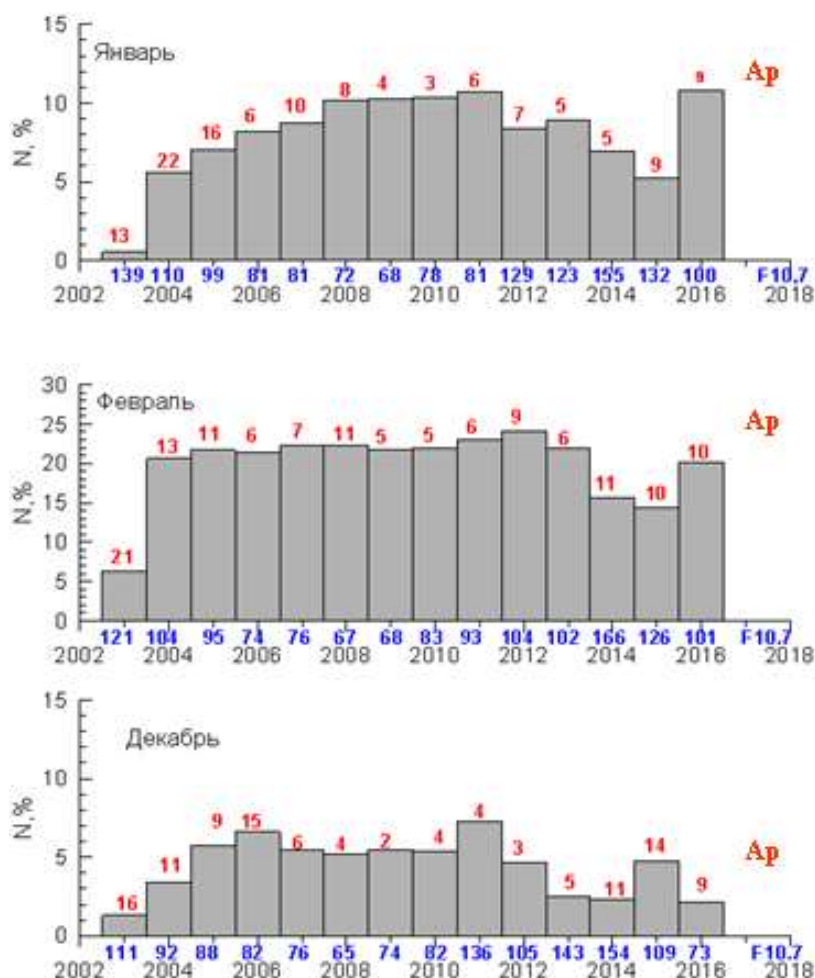


Рис. 96. Гистограмма относительного появления слоя F1 для трех зимних месяцев разных лет. Красные цифры — среднемесячные значения индекса A_p , характеризующего уровень магнитной возмущенности, синие — среднемесячные значения индекса солнечной активности $F10.7$

3.5.8. Исследование процессов в системе термосфера—ионосфера во время геомагнитных возмущений и в спокойных условиях для длительного периода 2003–2015 гг. на основе данных измерений ионозондов на станциях Иркутск и Норильск

3.5.8.1. Анализ сезонных, суточных и годовых вариаций параметров слоя F2 по данным трех ионосферных станций разных широт

С целью выделения сезонных, суточных, годовых вариаций параметров слоя F2, а также их вариаций с солнечной активностью проведен анализ многолетних ионосферных данных 2006–2012 гг., полученных в результате ручной обработки, для трех станций разных широт: Норильск (69.2° N , 88.0° E), Иркутск (52.4° N , 104.3° E) и Хайнань (19.5° N , 109.1° E). Установлено, что зимняя аномалия в вариациях критических частот слоя F2 (f_oF2), проявляющаяся при разных уровнях магнитной активности, увеличивается с ростом солнечной активности, особенно на средних широтах. На рис. 97 приведены вариации f_oF2 на указанных станциях для разных лет. Видно, что суточные вариации f_oF2 хорошо коррелируют с изменением солнечной активности, а высота максимума слоя h_mF2 — только в дневные и вечерние часы. В вариациях h_mF2 четко выражены годовые вариации: она максимальна летом и минимальна зимой, при этом наибольших значений достигает на низких широтах.

Суточный ход h_mF2 в Хайнане обычно имеет два максимума: в полуденные и предвосходные часы, а значения h_mF2 выше днем, чем ночью. На средних и высоких широтах эта зависимость обратная: ночные величины h_mF2 больше дневных. Сравнение наблюдаемых медианных значений критической частоты f_oF2_m с расчетами по модели IRI-2012 f_oF2_c , выполненное для станции Хайнань, показало, что модельные значения в основном занижены относительно наблюдаемых и отклонения рассчитанных значения от измеренных $\Delta f_oF2 = f_oF2_c - f_oF2_m$, $\Delta h_mF2 = h_mF2_c - h_mF2_m$ возрастают с ростом солнечной активности.

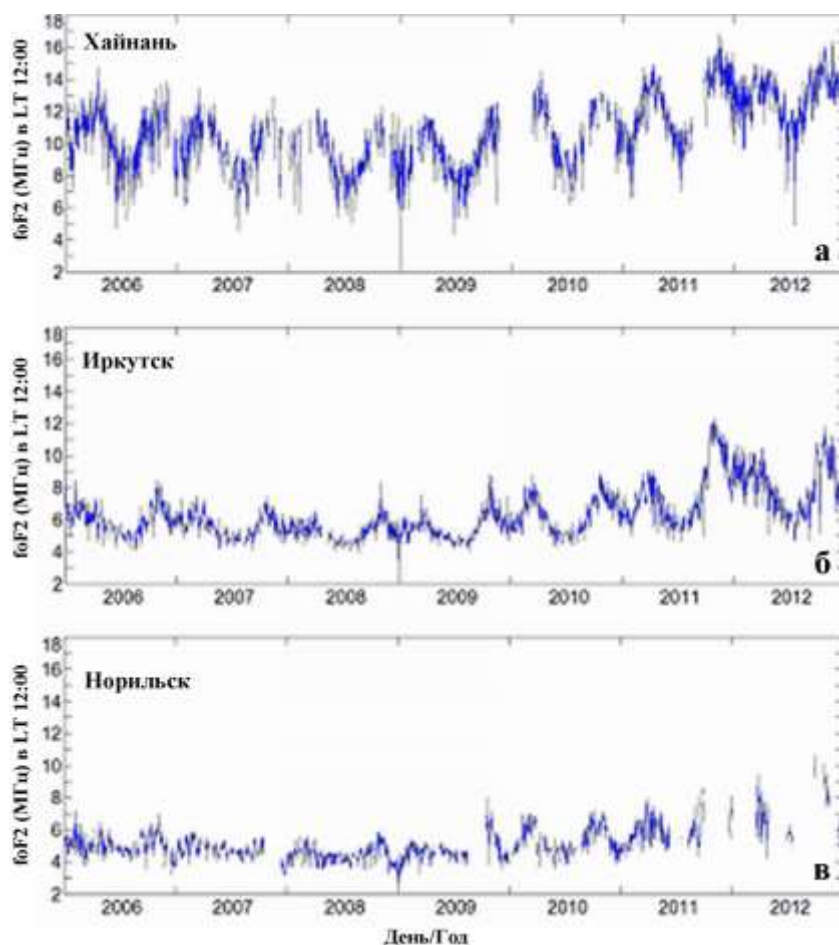


Рис. 97. Ход критических частот f_oF2 на станциях Хайнань (а), Иркутск (б), Норильск (в) для разных лет

3.5.8.2. Анализ годовых вариаций электронной концентрации на высотах слоя F1

По измерениям цифровых ионозондов на станциях Иркутск и Норильск обработан большой массив данных и исследованы годовые вариации электронной концентрации N_e на высотах слоя F1 за 2003–2015 гг. На основе этих данных получены коэффициенты уравнения аппроксимации полуэмпирической модели ионосферы (ПЭМ) для разных условий солнечной активности последнего цикла, что является важным дополнением к ПЭМ, которая позволяет детально проанализировать поведение ионосферы на высотах ниже 200 км.

С полученными коэффициентами для станции Иркутск были рассчитаны и проанализированы годовые изменения N_e на высотах слоя F1 (120–200 км) в течение последнего цикла солнечной активности. Пример вариаций N_e в 2007 г. на трех высотных уровнях приведен на рис. 98. Подобная форма кривых характерна для станции Иркутск и в другие периоды последнего цикла солнечной активности. Наиболее характерной особенностью для Иркутска является изменение на 180° фазы годовой вариации N_e в интервале высот 170–190 км.

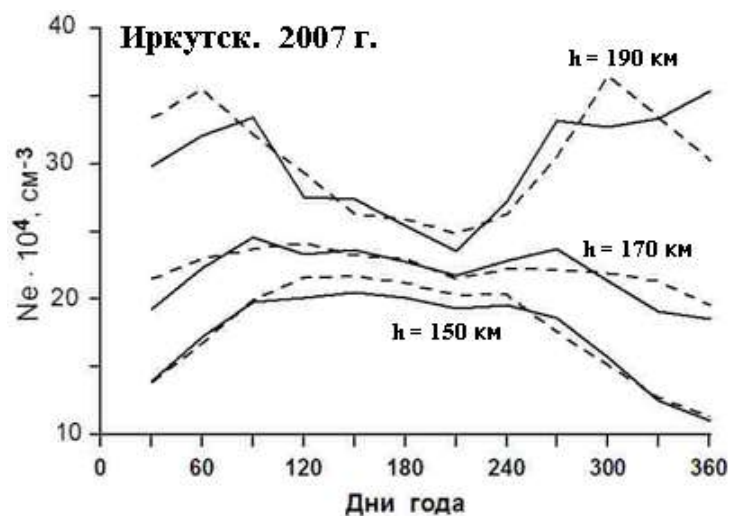


Рис. 98. Годовое изменение рассчитанных полуденных значений N_e в минимуме солнечной активности на станции Иркутск на трех высотах (150, 170, 190 км). Штриховые кривые — экспериментальные величины N_e для каждой высоты

3.5.9. Исследование корреляции вариаций полного электронного содержания (ПЭС) на средних широтах с индексами солнечной и геомагнитной активности. Тестирование методики определения возмущенности ПЭС

3.5.9.1. Зависимость амплитуды суточных вариаций ГЭС и РЭС в Сибири от индекса солнечной активности F10.7

По данным мировых сетей приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) исследована зависимость амплитуды суточных вариаций глобального электронного содержания (ГЭС) и регионального электронного содержания (РЭС) на средних широтах Сибири от индекса солнечной активности F10.7 в 23–24 циклах солнечной активности.

Полученные на предыдущих этапах проекта (в 2013 и 2015 г.) длительные ряды измерений ГЭС и РЭС в Сибири дополнены данными последних лет. В рядах ГЭС и РЭС хорошо выражены годовые, полугодовые и 27-дневные вариации. Динамика ГЭС и РЭС отражает динамику индекса F10.7. Получена и проанализирована динамика амплитуды A суточных вариаций ГЭС и РЭС в Сибири в 23–24 циклах солнечной активности. Отмечены существенные изменения A . Поведение A характеризуется хорошо выраженными полугодовой и 11-летней вариациями. Получены функциональные зависимости амплитуды суточных вари-

аций ГЭС и РЭС в Сибири от $F_{10.7}$ (рис. 99). Анализ выявил монотонный рост этих параметров с увеличением $F_{10.7}$. В то же время РЭС в Сибири с увеличением $F_{10.7}$ растет практически линейно. Для ГЭС рост нелинейный: в функциональной зависимости этого параметра заметную роль играет квадратичный член, коэффициент при котором на порядок выше, чем для РЭС (рис. 99).

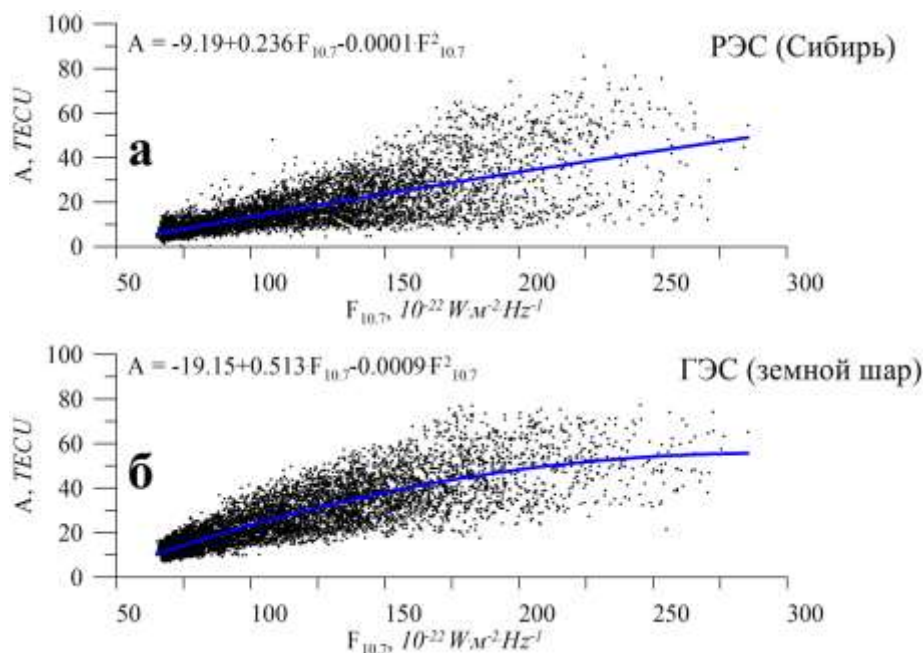


Рис. 99. Зависимость амплитуды суточных вариаций РЭС в Сибири (а) и ГЭС (б) от индекса солнечной активности $F_{10.7}$. Синяя кривая показывает полиномиальную регрессию. Вверху панелей приведены функциональные зависимости

3.5.9.2. Исследование ионосферной возмущенности в средних и высоких широтах

В рамках совместных научных исследований КФ ИЗМИРАН и ИСЗФ СО РАН проведен анализ ионосферных возмущений во время магнитных бурь 26–29 сентября 2011 г. (сильная буря 26.09.2011 г. и умеренная буря 27–28 09.2011 г.). Для анализа использовались данные о критической частоте слоя F2 ионосферы f_oF2 , полученные на ионозондах в Иркутске и Калининграде, и измерения ПЭС на ГНСС-приемниках, расположенных в тех же городах.

На рис. 100 показаны суточные вариации f_oF2 и ПЭС в Иркутске и Калининграде в спокойных условиях и во время геомагнитных бурь. В Иркутске на главной фазе бури 26 сентября наблюдались положительные возмущения f_oF2 в вечернем секторе, которые сменились отрицательными в ночное время. Отрицательные возмущения в f_oF2 зарегистрированы на фазе восстановления геомагнитной бури 28 сентября, а 29–30 сентября их сменили дневные положительные и ночные отрицательные возмущения f_oF2 . Сравнение поведения f_oF2 и ПЭС показало, что возмущения в f_oF2 и ПЭС имели одинаковые знаки на главных фазах бурь 26, 27 сентября и в ночное время на фазе восстановления, а наибольшие различия между возмущениями в f_oF2 и ПЭС наблюдались в дневное время на фазе восстановления. Во время главной фазы бури 26 сентября над Иркутском возмущение f_oF2 было более выражено, чем в ПЭС, т. е. на главной фазе бури среднеширотная ионосфера была более изменчивой, чем плазмосфера. Напротив, над Калининградом 26 сентября во время главной фазы бури возмущения были более выраженными в ПЭС, чем в f_oF2 , т. е. субавро-ральная ионосфера была менее изменчивой, чем плазмосфера на главной фазе бури. Однако ото дня ко дню отрицательный эффект в ПЭС уменьшался с увеличением положительного эффекта в f_oF2 .

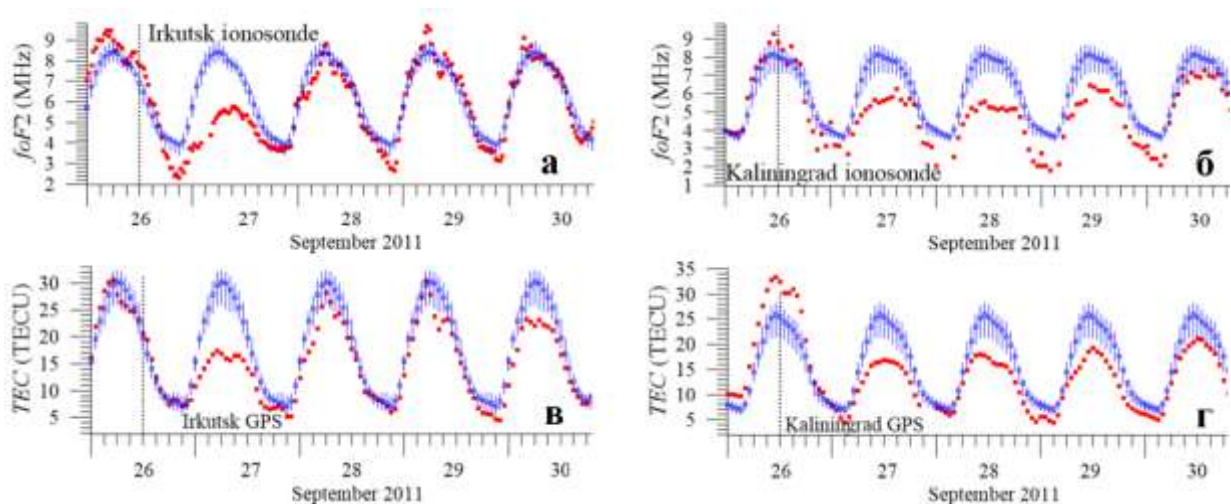


Рис. 100. Вариации f_oF2 (а, б) и ПЭС (в, г) над Иркутском (а, в) и Калининградом (б, г) 26–30 сентября 2011 г. (красные точки). Синими точками показано поведение f_oF2 и ПЭС в спокойных геомагнитных условиях с 27-дневной медианой и СКО

С помощью Глобальной самосогласованной модели термосферы, ионосферы и про-
тоносферы (ГСМ ТИП) выявлены основные механизмы, повлиявшие на поведение f_oF2 и
ПЭС во время указанных бурь. Положительные возмущения f_oF2 и ТЕС в вечернем секторе
в Восточной Сибири могут объясняться направленным к экватору нейтральным ветром, а
отрицательные в высоких широтах формируются за счет уменьшения отношения концен-
траций O/N_2 в течение практически всего периода бури.

3.5.9.3. Тестирование и совершенствование методики определения возмущенно- сти ПЭС

При анализе уровня возмущенности ПЭС одним из ключевых параметров является
амплитуда колебаний ПЭС, отфильтрованных в заданном диапазоне периодов. Однако
можно ожидать, что значение амплитуды отфильтрованных колебаний ПЭС будет зави-
сеть от угла места луча приемник—спутник ввиду интегрального характера ПЭС. В ходе
выполнения проекта проведено тестирование зависимости амплитуды колебаний ПЭС,
отфильтрованных в диапазоне периодов 1–10 мин, от угла места соответствующих лучей
приемник—спутник для ГНСС станции IRKJ за 2012 г. Исходные ряды вариаций наклон-
ного ПЭС рассчитывались по двухчастотным фазовым измерениям вдоль луча приемник—
спутник, приводились к вертикальным значениям и подвергались удалению тренда с вре-
менным окном 10 мин. Амплитуда вариаций ПЭС $S(t)$ определялась как огибающая от-
фильтрованных вариаций ПЭС. Ряды амплитуды $S(t)$ рассчитывались для всех непрерыв-
ных рядов ПЭС длительностью не менее 4 ч. Затем по всему массиву данных была полу-
чена гистограмма распределения амплитуды вариаций ПЭС в зависимости от угла места θ_s
спутника (рис. 101, а). Видно, что увеличение амплитуды S вариаций ПЭС с уменьшением
угла места θ_s проявляется на большом статистическом материале.

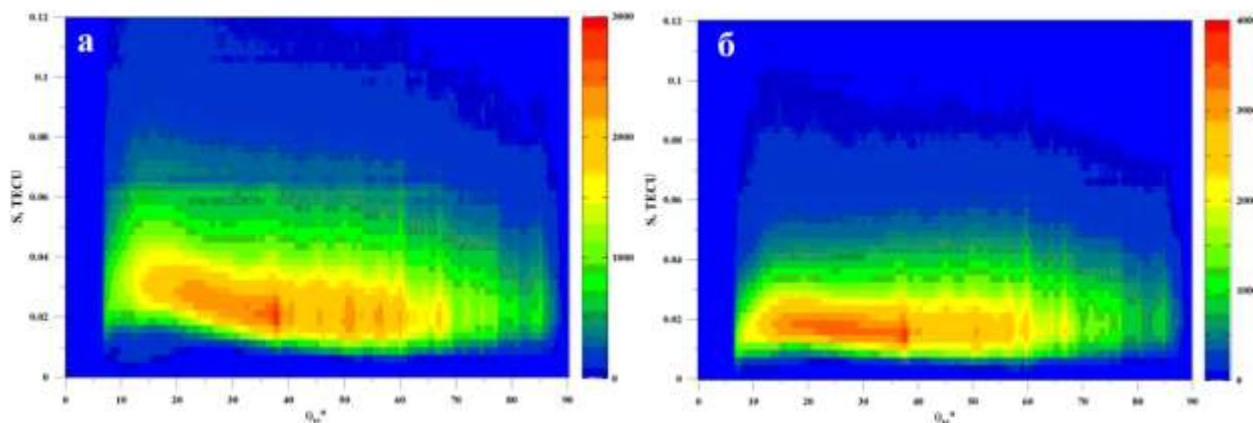


Рис. 101. Гистограмма распределения амплитуды S вариаций ПЭС в зависимости от угла места θ_s спутника

Для нейтрализации этого эффекта мы предложили проводить дополнительное преобразование отфильтрованных вариаций ПЭС $dI(t)$ к вертикальному значению, используя функцию преобразования с дополнительным коэффициентом α , учитывающим широту ГНСС-станции:

$$dI = dI \cos \left[\arcsin \left(\frac{R_E}{R_E + h_{\max}} \sin [\alpha (90 - \theta_s)] \right) \right].$$

В наших расчетах мы полагали $\alpha=0.8$. Получившееся новое распределение показано на рис. 101, б. Видно, что в целом зависимость амплитуды от угла места нейтрализована.

Таким образом, проведенное тестирование показало, что амплитуда отфильтрованных в диапазоне 1–10 мин вариаций ПЭС увеличивается с уменьшением угла места на спутник, несмотря на преобразование исходного наклонного ПЭС к вертикальному значению. Данный эффект можно устранить применив дополнительное преобразование отфильтрованных вариаций ПЭС к вертикальному значению.

3.5.10. Список использованных источников

1. <http://www.ngdc.noaa.gov>.
2. <http://www.esrl.noaa.gov/psd>.
3. <http://data.giss.nasa.gov>.

3.6. Исследование системы литосфера–атмосфера–ионосфера в экстремальных условиях

3.6.1. Проведение координированных измерений параметров верхней атмосферы в Байкальском регионе с помощью комплекса геофизических инструментов, пополнение банков геофизических данных, предварительный анализ полученных данных

В 2017 г. продолжались координированные измерения параметров верхней атмосферы в Байкальском регионе с помощью комплекса геофизических инструментов: оптического комплекса, высокоскоростного ЛЧМ-иозонда, сети SibNET наземных приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). В 2017 г. особое внимание уделялось измерениям во время экстремальных событий на Солнце и в магнитосфере Земли, наблюдавшихся в сентябре: серия мощных солнечных вспышек и последовавшие за ними магнитные бури. Предварительный анализ полученных данных показал наличие значительных возмущений в верхней атмосфере, вызванных этими событиями. Выполнен сбор данных ГНСС-измерений во время запуска с космодрома Восточный в ноябре 2017 г.

Данные измерений, полученные в 2017 г. дополнили банки геофизических данных ИСЗФ СО РАН (оптические наблюдения, ионозондовые измерения, ГНСС-измерения).

В рамках совершенствования методов измерений и обработки данных предложен способ обнаружения возмущений ионосферы, вызванных запусками космических аппаратов (КА), который позволяет детектировать взрывные возмущения ионосферы во время аварийных запусков по данным зондирования сигналами ГНСС. Суть предложенного способа (изобретения) заключается в следующем. Временные ряды полного электронного содержания (ПЭС), полученные с помощью двухчастотных приемников ГНСС, подвергаются фильтрации для выделения возмущений ПЭС, вызванных запуском КА. Полученные после фильтрации сигналы сравниваются с поведением ПЭС в предыдущий день. За возмущение, вызванное запуском, принимается сигнал, превышающий уровень фоновых колебаний ПЭС и отсутствующий в контрольный предыдущий день. Далее анализируется форма выделенного возмущения и в случае, если она представляет собой волновой пакет, определяется взрывной характер ионосферных возмущений, вызванных запуском КА. Способ запатентован, получен патент на изобретение [№ 2624911, дата государственной регистрации 10 июля 2017 г.].

Способ был тестирован на примере двух запусков КА с космодрома Байконур 28 апреля и 16 мая 2015 г., закончившихся по данным Госкорпорации «Роскосмос» [<http://www.roscosmos.ru/launch/2015>] нештатными ситуациями. Во время запуска ракеты-носителя (РН) «Союз-2.1А» с транспортным грузовым кораблем (ТГК) «Прогресс М-27М» 28 апреля произошло нештатное разделение 3-й ступени РН и ТГК, в результате чего корабль и РН оказались на орбитах, параметры которых отличались от расчетных [www.roscosmos.ru/21481]. Во время запуска РН «Протон-М» со спутником «МекСат-1» 16 мая была зафиксирована нештатная работа двигателей третьей ступени РН; третья ступень и КА практически полностью сгорели в атмосфере [www.roscosmos.ru/21491]. По данным ГНСС-станции KRTV, входящей в Международную геодинамическую сеть IGS [<http://sopac.ucsd.edu>], проанализированы возмущения ПЭС, вызванные указанными запусками. Возмущения ПЭС, вызванные запуском 28.04.2015 г. по форме (одиночный импульс) близки тем, которые неоднократно наблюдались во время штатных запусков с космодрома Байконур в 1998–2000 гг. Возмущения ПЭС, вызванные запуском 16.05.2015 г., существенно отличались: они имели форму волновых пакетов. Это свидетельствует о том, что в этот день воздействие запуска КА на ионосферу имело взрывной характер. Проведенное тестирование показало, что предложенный способ обеспечивает возможность обнаружения с помощью сигналов ГНСС взрывных возмущений ионосферы во время аварийных запусков КА. Для реализации способа необходимо использовать данные непрерывного мониторинга ионосферы приемными станциями ГНСС в районах, прилегающих к месту запуска.

3.6.2. Комплексный анализ геофизических эффектов, вызванных искусственными воздействиями на верхнюю атмосферу

В 2017 г. в рамках настоящего проекта выполнен комплексный анализ реакции ионосферы на работу двигательных установок (ДУ) транспортно-грузовых кораблей (ТГК) «Прогресс» по данным ГНСС, полученным в активных космических экспериментах 2006–2014 гг. В 2006–2014 гг. в ИСЗФ СО РАН выполнена серия активных космических экспериментов (КЭ) «Плазма—Прогресс» и «Радар—Прогресс», направленных на изучение воздействия ДУ ТГК «Прогресс» на верхние слои атмосферы и ионосферу [4]. Проведено 72 активных КЭ, в которых трасса полета ТГК «Прогресс» проходила над районом Прибайкалья, а для регистрации неоднородностей ионосферной плазмы, вызванных работой ДУ ТГК, использовались данные ГНСС. Реакция ионосферы на работу ДУ ТГК исследовалась на ос-

нове анализа вариаций ПЭС, которые рассчитывались по двухчастотным фазовым измерениям приемников ГНСС.

В ходе выполнения проекта для 72 активных КЭ с участием ГНСС проведен анализ геомагнитной обстановки. Установлено, что в 61 КЭ геомагнитная обстановка оставалась спокойной ($K_p \leq 2+$), в 5 экспериментах — слабо возмущенной ($3 - \leq K_p \leq 3+$), в 6 экспериментах — умеренно возмущенной ($4 - \leq K_p \leq 4+$). Геомагнитных бурь (значения геомагнитного индекса $K_p \geq 5-$) во время проведения КЭ не наблюдалось. Поведение ПЭС в возмущенные дни характеризовалось, как правило, наличием интенсивных фоновых колебаний, затрудняющих выделение изменений, связанных с воздействием ДУ ТГК.

Отклик ПЭС на работу ДУ ТГК был обнаружен в 10 % случаев (в 7 КЭ из 72) от общего числа КЭ и представлял собой уменьшение ПЭС. Уровень геомагнитной активности практически для всех случаев регистрации отклика можно охарактеризовать как спокойный ($K_p \leq 1+$). Таким образом, геомагнитные возмущения в указанных КЭ не препятствовали регистрации отклика ПЭС на воздействие ДУ ТГК. В 2017 г. в рамках проекта проведено сравнение амплитуды отклика ПЭС с точностью определения вариаций ПЭС и уровнем фоновых колебаний. Показано, что амплитуда откликов ПЭС по модулю (0.03–0.16 TECU) превышает как погрешность определения вариаций ПЭС (0.01 TECU), так и уровень фоновых вариаций (0.015–0.036 TECU) на близких углах места спутников ГНСС.

Специальному анализу были подвергнуты наблюдавшиеся особенности вариаций ПЭС во время двух активных КЭ: 16 апреля 2014 и 18 апреля 2013 г.

В эксперименте 16.04.2014 г. возмущение зарегистрировано по данным GPS (спутник G08) и ГЛОНАСС (спутник R17). В ходе анализа, выполненного в рамках настоящего проекта, впервые данные GPS и ГЛОНАСС для этого КЭ рассматривались одновременно. Обобщенная картина вариаций ПЭС и движения ионосферных точек (ИТ) для систем GPS, ГЛОНАСС во время КЭ 16 апреля 2014 г. показана на рис. 102. Первым было зарегистрировано возмущение в данных ГЛОНАСС на луче ORDA—R17. На луче ORDA—R17 ИТ пересекла область воздействия в 12:15:40 UT, т. е. через 6 мин после включения ДУ ТГК (рис. 102, з). В этот момент в вариациях ПЭС на указанном луче наблюдался глубокий минимум (–0.16 TECU) (рис. 102, б). Через 9 мин после включения ДУ ТГК область воздействия пересек луч LIST—G08 системы GPS (рис. 102, д). В этот же момент на указанном луче наблюдалось максимальное уменьшение ПЭС (–0.07 TECU) (рис. 102, а). Наконец, спустя 22 мин после включения ДУ ТГК область воздействия пересек луч ISTP—G08 (рис. 102, е). Однако сколько-нибудь значительного уменьшения ПЭС, обусловленного воздействием ДУ, на луче ISTP—G08 не зарегистрировано (рис. 102, а). Квазипериодические колебания ПЭС на этом луче наблюдаются до и после пролета ТГК и являются возмущениями, вызванными другими источниками. В рассматриваемый период 12:09–12:32 UT условия наблюдения спутника G08 на станциях LIST и ISTP были достаточно близкими. Это позволяет сделать заключение, что отсутствие возмущений, связанных с воздействием ДУ, на луче ISTP—G08 обусловлено достаточно большим временным интервалом между включением ДУ и пересечением лучом ISTP—G08 области воздействия. К концу этого интервала ПЭС внутри области воздействия вернулось к невозмущенному уровню. Таким образом, время существования возмущенной области, созданной работой ДУ ТГК «Прогресс», не превышало, вероятно, 20 мин. Период 12:09–12:32 UT соответствует вечерним часам 19:09–19:32 LT в Прибайкальском регионе. Можно ожидать, что в таких условиях (равноденствие, вечерние часы) из трех основных процессов (ионизация, рекомбинация, перенос) главную роль в нивелировании области пониженной электронной концентрации играют процессы переноса плазмы.

В активном КЭ 18.04.2013 г. через 5 мин после включения ДУ ТГК (в 12:33 UT) во временных вариациях ПЭС на луче ORDA—G07 зарегистрирован отклик на работу ДУ в виде резкого уменьшения ПЭС (до –0.06 TECU), коррелирующего по времени с моментом пересечения лучом ORDA—G07 области воздействия ДУ (рис. 103, а). В то же время через 1 мин после включения ДУ (в 12:29 UT) для спутника G07 все станции одновременно зарегистриро-

вали быстрое увеличение ПЭС (рис. 103, *а*). Для выяснения вопроса, с чем связано это увеличение ПЭС, проведен анализ исходных (нефильтрованных) вариаций ПЭС. Исходные вариации ПЭС (рис. 103, *б*) демонстрируют одновременный положительный скачок ПЭС в 12:29 UT. Аналогичные положительные скачки ПЭС меньшей амплитуды наблюдаются в 12:18 и 12:21 UT. Такие скачки в данных ПЭС являются хорошо известным явлением и появляются вследствие срыва сопровождения фазы. В нашем случае наблюдаются строго синхронные скачки для одного спутника на всех работающих станциях. Это означает, что причиной таких скачков является сбой (скачок фазы) в работе передающей аппаратуры спутника.

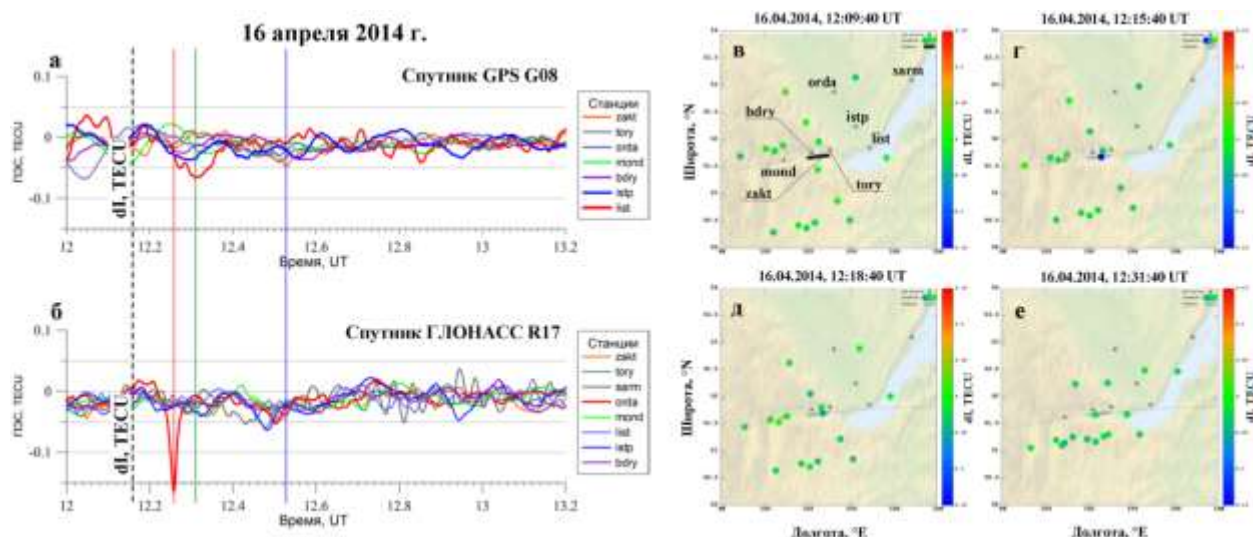


Рис. 102. Отфильтрованные вариации ПЭС для спутников G08 (*а*) и R17 (*б*) на разных станциях ГНСС в КЭ 16 апреля 2014 г. (вертикальная штриховая линия — момент включения ДУ ТГК; красная, зеленая, синяя вертикальные линии — моменты пересечения траектории ТГК лучами соответственно ORDA—G07, LIST—G08, ISTR—G08); перемещение ионосферных точек спутников G08 и R17 в течение 22 мин после включения ДУ ТГК (*в–е*). Панель (*в*) соответствует моменту включения ДУ. Цвет точки показывает значение вариаций ПЭС. Серая линия — траектория ТГК «Прогресс». Утолщенный участок траектории — движение ТГК с работающей ДУ

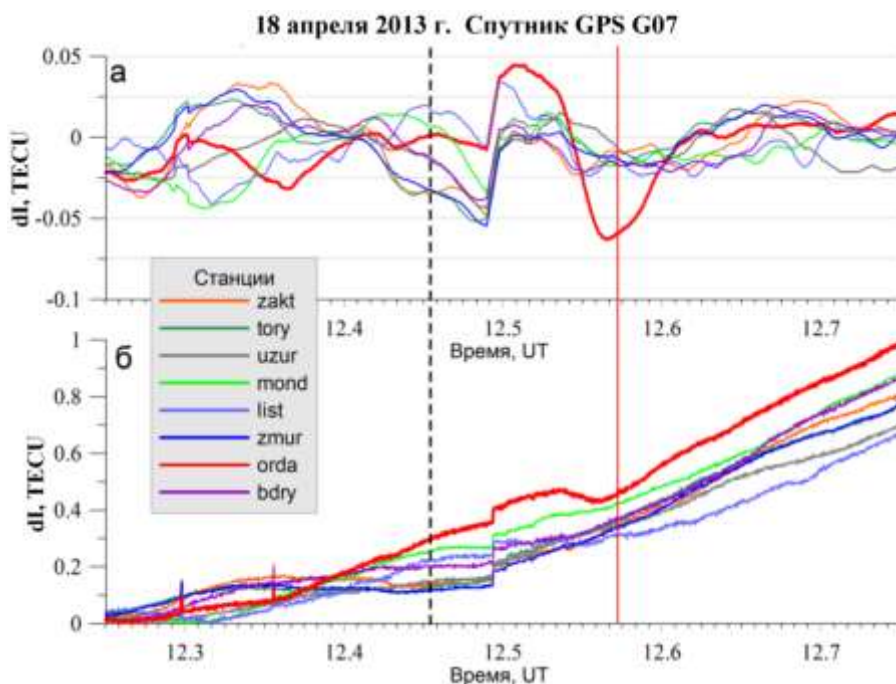


Рис. 103. Вариации ПЭС для спутника G07 на разных станциях ГНСС, отфильтрованные в диапазоне 0.5–10 мин (*а*) и без фильтрации (*б*) во время КЭ 18.04.2013 г. Вертикальная штриховая линия — момент включения ДУ ТГК. Красная линия — момент пересечения траектории ТГК лучом ORDA—G07

3.6.3. Статистический анализ ионосферных эффектов, генерируемых при землетрясениях поверхностными сейсмическими волнами

В 2017 г. был продолжен начатый на прошлом этапе проекта анализ динамики неоднородностей верхней атмосферы, которые генерируются при землетрясениях поверхностными сейсмическими волнами. Анализ выполнялся для 28 землетрясений 2011–2016 гг. с эпицентрами, расположенными по всему земному шару. Отбор землетрясений проведен по превышению максимальной амплитуды сейсмических колебаний в Байкальском регионе заданного порога. В 2016 г. по данным высокоскоростного ЛЧМ-ионозонда, расположенного в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН в п. Торы, в Байкальском регионе для 28 указанных землетрясений выявлено два вида возмущений, связанных с распространением УАВ, вызванных сейсмическими волнами Рэлея: эффект multicusp (9 событий), Esp bifurcation (3 события). Для оценки акустической эффективности сейсмической волны было предложено использовать максимальную амплитуду УАВ (индекс K_W). Введенный нами индекс K_W учитывает пространственную структуру волны Рэлея и связан с максимальным значением диаграммы направленности акустического излучения от этого распределенного источника.

В 2017 г. выполнен статистический анализ появляемости эффектов в нижней ионосфере в зависимости от местного солнечного времени LST и индекса K_W . Установлено, что ионосферные эффекты, обусловленные сейсмическими волнами от землетрясений, не наблюдаются в возмущенных геомагнитных условиях, а также в тех случаях, когда след на ионограммах начинается с высоты ~ 250 км.

На рис. 104 отмечены основные ионосферные эффекты, вызванные прохождением сейсмических волн от землетрясений и зарегистрированные на ЛЧМ-ионозонде ИСЗФ СО РАН как функции LST и K_W . Анализ рис. 104 показывает, что в ночное время эффект multicusp не наблюдается. Для относительно слабых ($K_W < 3.6$) данный эффект не наблюдается даже в дневное время. Для относительно высоких $K_W \geq 4.7$ эффект multicusp регистрируется почти регулярно в дневные часы 07:00–17:00 LST. Для проверки полученной зависимости были проанализированы также результаты наблюдений эффекта multicusp, представленные в литературе — для этих событий был рассчитан индекс K_W . Расчет K_W выполнялся по данным о сейсмических колебаниях, полученным на сейсмостанциях, расположенных вблизи места регистрации эффектов multicusp. Результаты расчетов, отмеченные звездочками на рис. 104, согласуются с данными наших наблюдений. Таким образом, статистический анализ появляемости эффектов в нижней ионосфере показал, что эффекты multicusp наблюдаются в дневные часы местного времени при $K_W \geq 4.7$.

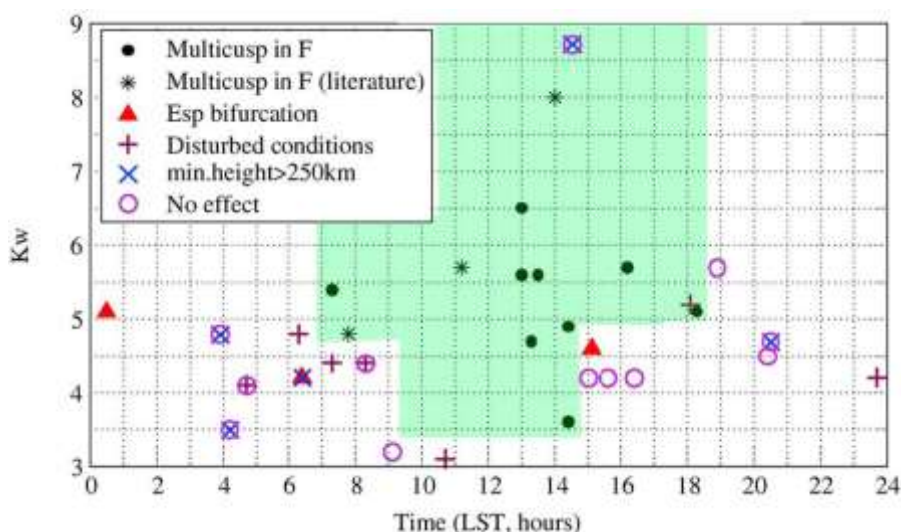


Рис. 104. Распределение наблюдавшихся в 2011–2016 гг. ионосферных эффектов, обусловленных волнами Рэлея, в зависимости от LST и K_W . Звездочками отмечены события multicusp, упоминавшиеся в литературе другими исследователями. Зеленым выделена область наблюдения эффектов multicusp

Наблюдаемая суточная зависимость эффектов может быть вызвана несколькими факторами: особенностями техники зондирования (из-за низкой концентрации электронов ночью ионограммы начинаются с высоты 250 км); суточной зависимостью эффективности взаимодействия в системе Земля-ионосфера; суточной зависимостью затухания акустических волн с высотой; суточной зависимостью эффективности передачи энергии от нейтральной компоненты к заряженной.

В результате проведенных работ продемонстрировано, что скоростной ЛЧМ-ионозонд ИСЗФ СО РАН является весьма чувствительным инструментом, способным проводить эффективный мониторинг и изучение быстрых процессов передачи энергии посредством ударных акустических волн в системе литосфера—ионосфера. Индекс K_W и местное время являются эффективными параметрами, влияющими на вероятность наблюдения эффектов ударных акустических волн в ионосфере, вызванных поверхностными сейсмическими волнами.

3.6.4. Список использованных источников

1. <http://www.roscosmos.ru/launch/2015>.
2. www.roscosmos.ru/21481.
3. www.roscosmos.ru/21491.
4. Хахинов и др., Вестник СибГАУ. 2013. Т. 5, № 51. С. 160–163.

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

3.7.1. Оценка вклада волновых процессов различного временного масштаба в нижележащей атмосфере в температурный и динамический режим мезопаузы и F2-области ионосферы

С использованием разработанной ранее методики [1, 2], проведено исследование изменчивости температуры области мезопаузы T_m (рис. 105, *a*) и максимума электронной концентрации N_mF2 (рис. 105, *б*), вызванной проявлением активности волн различных временных масштабов, в период действия внезапного стратосферного потепления (ВСП) в феврале 2016 г. и сопоставление полученных характеристик со средними сезонными значениями. Данное событие не сопровождалось сменой направления зональной ($60^\circ N$, 10 гПа) циркуляции атмосферы и, согласно определению Всемирной метеорологической организации, может быть классифицировано как минорное стратосферное потепление.

На рис. 105, *a* показана изменчивость температуры области мезопаузы вследствие воздействия планетарных волн (*a*), приливов (*b*) и внутренних гравитационных волн (ВГВ, *c*) для периода 1–9 февраля 2016 г. Вертикальная линия — день максимального повышения стратосферной температуры на 10 гПа в исследуемом регионе. Ранее было обнаружено, что усредненные за 2008–2015 гг. значения температурной изменчивости для февраля, вызванные активностью планетарных волн составляют 8.6 К, приливов — 4.5 К, ВГВ — 2.6 К [2]. Таким образом, в начале февраля 2016 г. в период минорного стратосферного потепления наблюдалось значительное усиление активности волновых процессов в области МНТ.

На рис. 105, *б* показаны результаты анализа вариативности максимума электронной концентрации ΔN_mF2 в различных временных периодах: полной ΔN_mF2 , межсуточной (ΔN_mF2 Day-to-Day), в приливном диапазоне (ΔN_mF2 Tide) и в диапазоне ВГВ (ΔN_mF2 IGW) (от верхней панели к нижней). Анализируемый период 1–9 февраля 2016 г. Черные сплошные линии отмечают среднеквадратичные значения ΔN_mF2 для каждого диапазона периодов, усредненные за 2008–2015 гг. для февраля. Обнаружены значительные возмущения ΔN_mF2 5–7 февраля, не связанные с вариациями геомагнитной активности. Эти возмущения проявляются в основном в приливном диапазоне; амплитуда приливной компоненты увеличилась в ~2 раза относительно среднеквадратичных значений. Возмущения ΔN_mF2 8 февраля

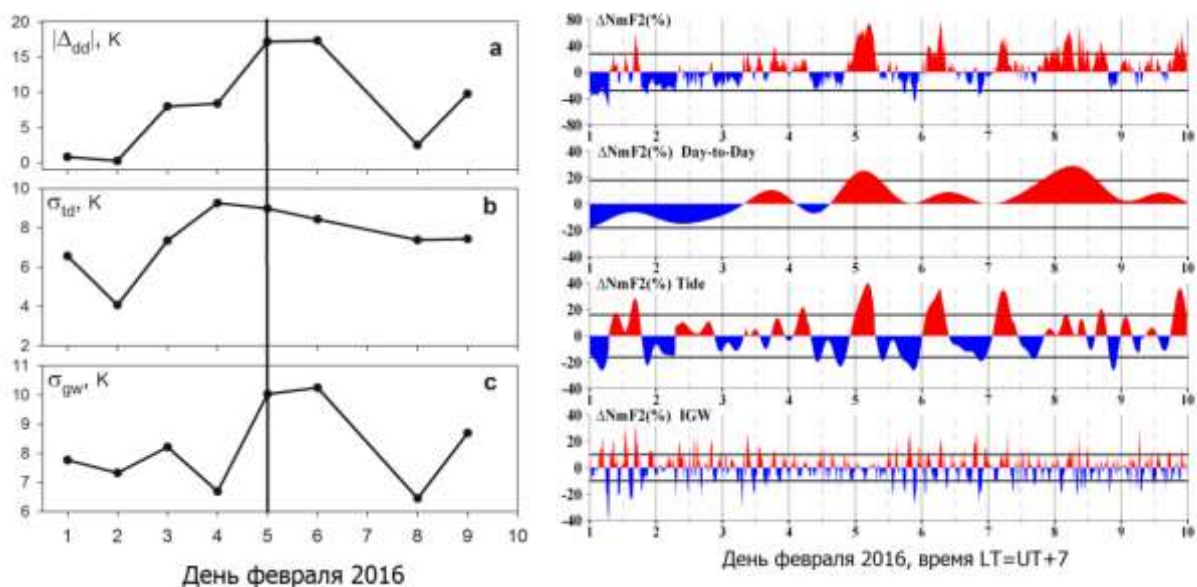


Рис. 105. Слева — изменчивость температуры области мезопаузы вследствие воздействия планетарных волн (a), приливов (b) и ВГВ (c) для периода 1–9 февраля 2016 г. Вертикальная линия — день максимального повышения температуры на 10 гПа в исследуемом регионе. Справа — вариации возмущения максимума электронной концентрации в различных временных периодах: полной $\Delta N_m F_2$, межсуточной ($\Delta N_m F_2$ Day-to-Day), в приливном диапазоне ($\Delta N_m F_2$ Tide) и в диапазоне ВГВ ($\Delta N_m F_2$ IGW) (от верхней панели к нижней). Анализируемый период 1–9 февраля 2016 г. Черные сплошные линии отмечают среднеквадратичные значения $\Delta N_m F_2$ для каждого диапазона периодов, усредненные за 2008–2015 для февраля.

связаны с межсуточными вариациями $N_m F_2$. Таким образом, минорное стратосферное потепление в феврале 2016 г. вызвало существенное повышение атмосферной и ионосферной изменчивости на высотах верхней атмосферы, причиной которого может быть интенсификация активности атмосферных волн различных временных масштабов в результате действия ВСП.

3.7.2. Итоги исследования геомагнитной бури 17 марта 2015 г. по данным радиофизических и оптических наблюдений

Выполнен анализ морфологических характеристик среднеширотного сияния (СС) во время магнитной бури 17 марта 2015 г., названной по дню начала бурей Святого Патрика, которая была одной из самых больших геомагнитных бурь 24-го солнечного цикла, а по значению Dst -индекса — самой мощной в этом цикле.

Морфологические и спектрометрические наблюдения проводились при помощи методов и аппаратуры, описанных в [3, 4]. В результате проведенных исследований, наблюдаемого на юге Восточной Сибири СС во время геомагнитной бури 17 марта 2015 г, был сделан предварительный вывод, что анализируемое СС является результатом проявления двух форм среднеширотных сияний: сияния типа d + SAR дуга и обычного полярного сияния, наблюдаемого у северного горизонта — а-тип (см. рис. 106 и 107).

Среди наиболее интересных морфологических особенностей наблюдаемого сияния можно отметить следующие [5]. 1. Длительность основных всплесков доминирующих эмиссий не превышала 1 ч, что в большей степени характерно для суббуревой активности (суббурь). 2. Отсутствует зависимость эмиссии 630 нм от Dst -индекса в течение ночи, что является нетипичным для наблюдаемых ранее СС в ГФО ИСЗФ СО РАН. 3. В спектре свечения СС, кроме доминирующих авроральных эмиссий 557.7 и 630.0–636.0 нм, характерных и для среднеширотного свечения атмосферы, зарегистрировано появление эмиссии NI 520 нм и полосы N2 586.7 нм. 4. По своим цветовым характеристикам наблюдаемое СС 17 марта 2015 г. может быть отнесено к красному высотному сиянию d-типа, в отдельные интервалы времени —

к сиянию а-типа. 5. Оценено расстояние до экваториальной границы регистрируемого СС, которое составляет $\sim 530\text{--}785$ км, что соответствует геомагнитным широтам $\sim 47\text{--}49^\circ$ GML. 6. В интервале времени $\sim 16\text{--}21$ UT в околоразитной области регистрировалась достаточно интенсивная SAR- дуга, что может указывать на смещение во время этой бури экваториальной стенки главного ионосферного провала (ГИП) до геомагнитной широты $\sim 42^\circ$ GML в рассматриваемом долготном секторе.

Методы и аппаратура для наблюдения температуры верхней атмосферы при помощи анализа интерферограмм, полученных в интерферометре Фабри—Перо, описаны в [6]. По данным интерферометрических наблюдений в эмиссии 630 нм в течение ~ 3 ч ($\sim 13\text{--}15$ UT) зарегистрировано увеличение доплеровской температуры атомарного кислорода от значений $\sim 1100\text{--}1150$ К до $\sim 1450\text{--}1650$ К. На рис. 108 представлены результаты измерений интенсивностей эмиссии 630 нм и доплеровских температур T_{630} в трех направлениях: север—зени—юг соответственно под зенитными углами -60° , 0 и 60° , полученные при помощи интерферометра Фабри—Перо. Направление визирования ИФП в северном направлении практически совпадает с направлением визирования спектрографов SATI-1M и SHAMROCK SR-303I, в силу этого динамика интенсивности эмиссии 630 нм в этом направлении по данным этих инструментов практически совпадает (рис. 106, 107). Среди интересных особенностей, вытекающих из данных, показанных на рис. 108, следует отметить одновременно большой градиент интенсивностей между северным направлением и

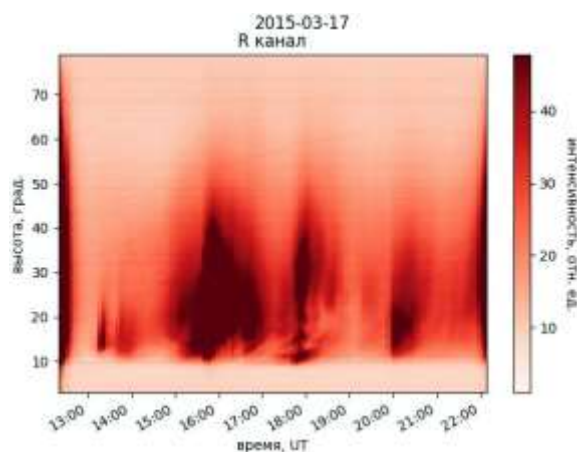


Рис. 106. Кеограмма среднеширотного сияния 17 марта 2015 г. в красном канале, полученная камерой FILIN-1M

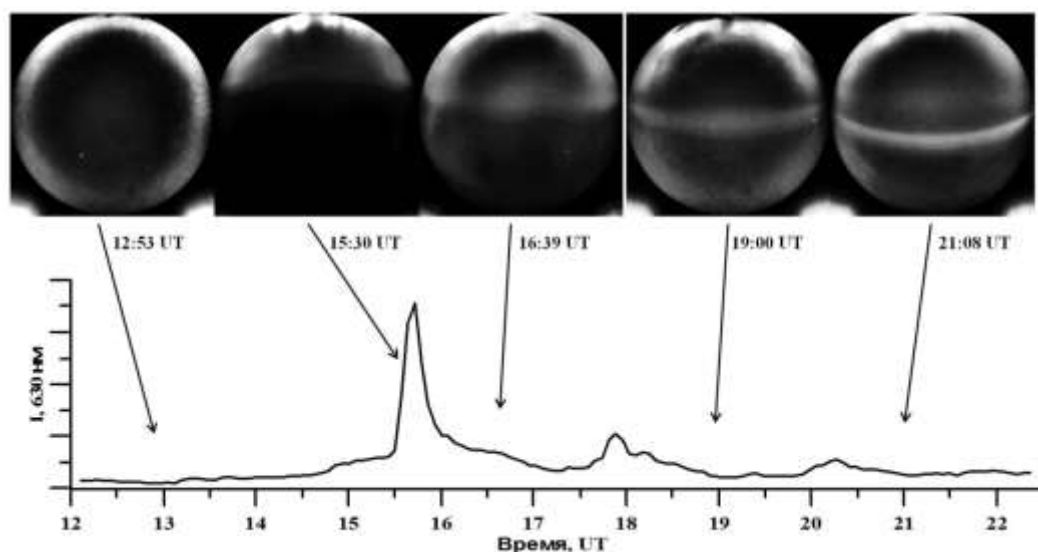


Рис. 107. Изображения SAR-дуги в эмиссии 630 нм, полученные камерой всего неба КЕО (вверху) в сопоставлении с динамикой эмиссии 630 нм (спектрограф SATI-1M, внизу)

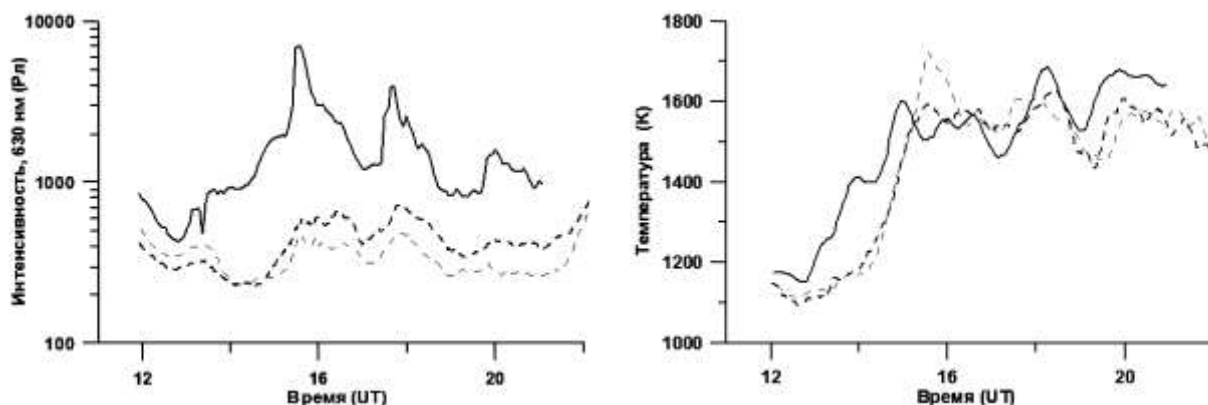


Рис. 108. Поведение интенсивности регистрируемых интерферометром Фабри—Перо излучения (слева) и температуры (справа) излучающего вещества для линии 630 нм. Толстые линии — направление на север, толстые штриховые — в зенит, тонкие штриховые — на юг

направлениями в зенит и на юг и практически одинаковый средний уровень доплеровских температур $T_{630} \sim 1450\text{--}1650$ К после 15 UT в этих направлениях. Считается, что среднеширотные сияния d-типа и SAR-дуги обусловлены повышением температуры электронов на высотах F-области ионосферы и внешней ионосферы в результате потоков тепла из области внешней плазмосферы (плазмопаузы) как результат нагрева плазмосферных электронов энергичными частицами кольцевого тока и высокой электронной теплопроводности [7]. В этом случае данные ИФП, показывающие увеличение температуры T_{630} для всех направлений визирования от $\sim 1100\text{--}1150$ К в начале измерений до величин $\sim 14:50\text{--}16:50$ К к 15–16 UT, достаточно хорошо согласуются с этими представлениями.

Было выполнено масштабное исследование [8] ионосферного отклика на сильную геомагнитную бурю, начавшуюся 17 марта 2015 г., на основе совместного анализа данных евразийской цепи ионозондов, расположенных в диапазоне широт $50\text{--}60^\circ$ N с интервалом $15^\circ\text{--}20^\circ$ по долготе в долготном секторе $13^\circ\text{--}158^\circ$ E; данных глобальной сети магнитометров INTERMAGNET; данных спутниковых измерений отношения $[O]/[N_2]$ с помощью УФ-спектрометра GUVI TIMED. Следует отметить, что подобный эксперимент с использованием данных сети ионозондов и магнитометров (рис. 109), покрывающей весь Евразийский континент, не имеет аналогов и позволяет получить уникальные результаты.

На рис. 110 приведена карта долготных вариаций критической частоты f_oF2 максимума ионизации вдоль широтного пояса $\sim 55^\circ$ N с 15 по 21 марта 2015 г.

На основе первичных данных ионозондов был проведен анализ ионограмм и выделены интервалы времени, когда ионозонд оказывался внутри главного ионосферного провала (ГИП), положение которого во время геомагнитных возмущений является индикатором активности ионосферных возмущений. Эти интервалы времени выделены на рис. 110 белой штриховой линией. Как видно из вариаций f_oF2 (рис. 110), зона основного возмущения ионосферы (низкой концентрации плазмы) в долготном секторе $\sim 80\text{--}160^\circ$ E оставалась активной в течение двух суток 17 и 18 марта, в то время как на долготах Европы днем 18 марта f_oF2 была лишь на 2–3 МГц ниже невозмущенного уровня 15–16 марта. Однако в фазе восстановления 19 марта, когда на долготах $80\text{--}120^\circ$ E значения f_oF2 приблизились к невозмущенному уровню, в европейском секторе, наоборот, наблюдалось понижение f_oF2 , которое продолжалось и в следующие дни 20–21 марта. Кроме этого, на долготах $40\text{--}60$ и $120\text{--}140^\circ$ E в ночные часы 19 марта наблюдалось перемещение ГИП ниже 55° N. В западной Европе аналогичное перемещение ГИП наблюдалось также и 20 марта, т. е. через трое суток после главной фазы бури.

Анализ вариаций геомагнитного поля (ГМП) показал [8], что воздействие на магнитосферу Земли проходило в два этапа, время начала которых показано на рис. 110 стрелками. Первое воздействие (ударная волна частиц солнечного ветра по магнитосфере Земли) происходило в момент, когда на ночной стороне магнитосферы находился американский



Рис. 109. Схема расположения ионозондов (серые точки), среднеширотных (голубые точки) и высокоширотных (красные точки) магнитометров

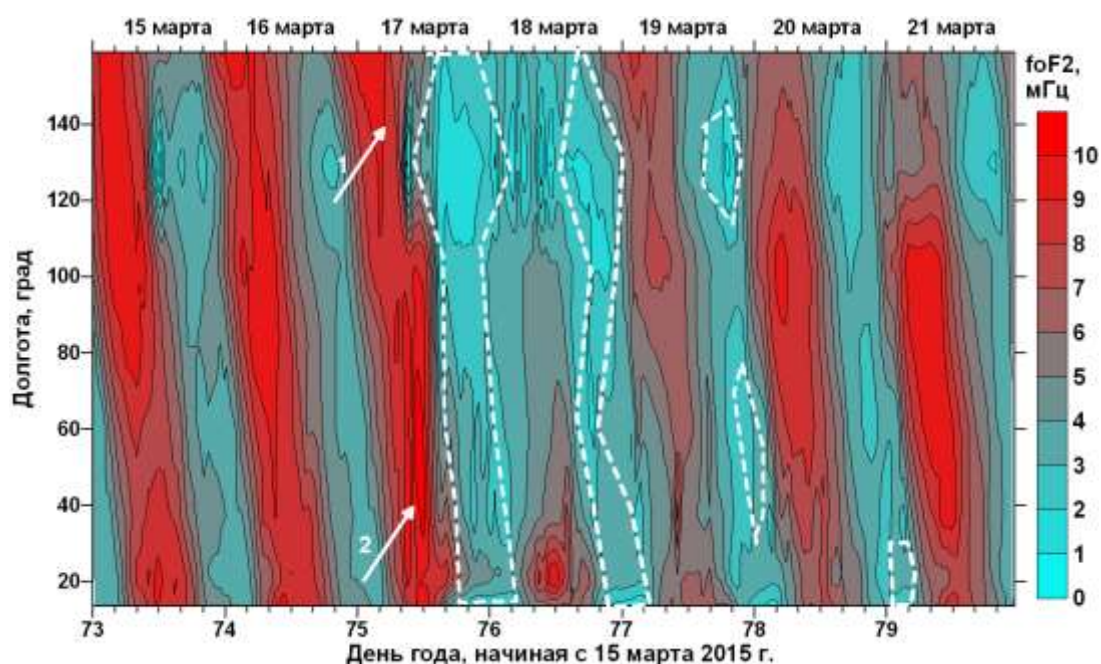


Рис. 110. Вариации f_oF2 вдоль евразийской цепи ионозондов 15–21 марта 2015 г.

сектор, а географический Дальний Восток был в вечернем секторе. На Дальнем Востоке в вечернем секторе произошло резкое уменьшение f_oF2 и ГИП переместился на средние широты. Второе мощное воздействие произошло, когда ночной сектор магнитосферы находился над Восточной Сибирью. В вечернем секторе на долготах 30° – 110° наблюдался ярко выраженный даск-эффект (Dusk effect), после чего ГИП опустился ниже 50° N на всей территории Евразии. Такая изменчивость ионосферы является типичной для больших ионосферных возмущений в средних широтах, однако совершенно неожиданные результаты были получены при анализе ионосферной динамики по долготе в последующие дни после начала магнитной бури. Столь продолжительный во времени эффект в ионосфере поставил естественный вопрос о физическом механизме наблюдаемого явления. Был рассмотрен очевидный механизм, связанный с тем, что ионосферный отклик на сильную гео-

магнитную бурю связан с возмущениями в нижней термосфере вследствие усиления авроральной электроструи, что приводит к увеличению нейтрального ветра и зоны турбулентности в нижней ионосфере. Это, в свою очередь, вызывает подъем молекулярного газа на ионосферные высоты, уменьшая отношение $[O]/[N_2]$, и, следовательно, электронную концентрацию в верхней ионосфере. Были проанализированы данные спутниковых измерений отношения $[O]/[N_2]$ с помощью УФ-спектрометра GUVI TIMED на высотах нижней термосферы (~100 км), которые подтвердили вариации нейтрального состава атмосферы над исследуемым регионом в период после главной фазы бури (рис. 111).

По данным ионозондов (рис. 110) и спутниковым измерениям отношения $[O]/[N_2]$ (рис. 111) было оценено, что область низкого отношения $[O]/[N_2]$, образовавшаяся в нижней термосфере вследствие усиления авроральной электроструи, двигалась в течение трех суток в западном направлении со скоростью ~50–70 м/с. Было сделано предположение, что область низких значений f_oF_2 , которая появилась на долготах 140°–160° E 21 марта, связана с перемещением на эти долготы возмущенной области, которая возникла в американском секторе на первой активной фазе бури.

Из анализа вариаций ионосферных параметров было установлено [8], что в долготном распределении f_oF_2 существовал явный максимум на долготах вблизи ~90° E и два симметрично расположенных минимума на долготах вблизи ~50° и ~130° E (рис. 110). Для установления причины такой структуры ионосферы в возмущенных условиях был проведен анализ вариаций ГМП в высокоширотной (вдоль ~70° N) и среднеширотной (вдоль ~55° N) областях северного полушария по данным глобальной сети магнитометров INTERMAGNET, а также данным с сайтов российских институтов (рис. 112). В качестве параметра, характеризующего геомагнитную активность, было использовано стандартное отклонение для каждого часа вариаций H - и Z -компонент ГМП ($VarH$ и $VarZ$ соответственно) в возмущенный период относительно невозмущенного дня 13 марта, рассчитанное для каждой станции. На рис. 112 показаны долготно-временные распределения $VarH$ и $VarZ$ в высоких и средних широтах 15–21 марта 2015 г. Видно, что распределения компонент амплитуд возмущений ГМП проявляют четкую долготную зависимость: в высоких широтах видны два максимума, расположенные вблизи ~60°–80° и ~200°–220° E (рис. 112, а); в средних — три максимума, находящиеся вблизи ~30°–40°, ~130°–140° и ~270° E (рис. 112, б). Высокоширотный минимум $VarH$, $VarZ$ на ~130°–140° E совпадает по долготе с максимумом соответствующих переменных в средних широтах, а высокоширотный максимум $VarH$, $VarZ$ на долготах ~80°–90° с минимумом $VarH$, $VarZ$ в средних широтах.

При сравнении вариаций ГМП на средних широтах (рис. 112, б) с данными цепи ионозондов (рис. 110) становится очевидным, что области преимущественного распространения ГИП на средние широты совпадают с долготами максимальных вариаций ГМП в возмущенных условиях. Наоборот, минимум вариаций геомагнитного поля обеспечивает долготный максимум ионизации, наблюдаемый как в спокойных, так и в возмущенных условиях.

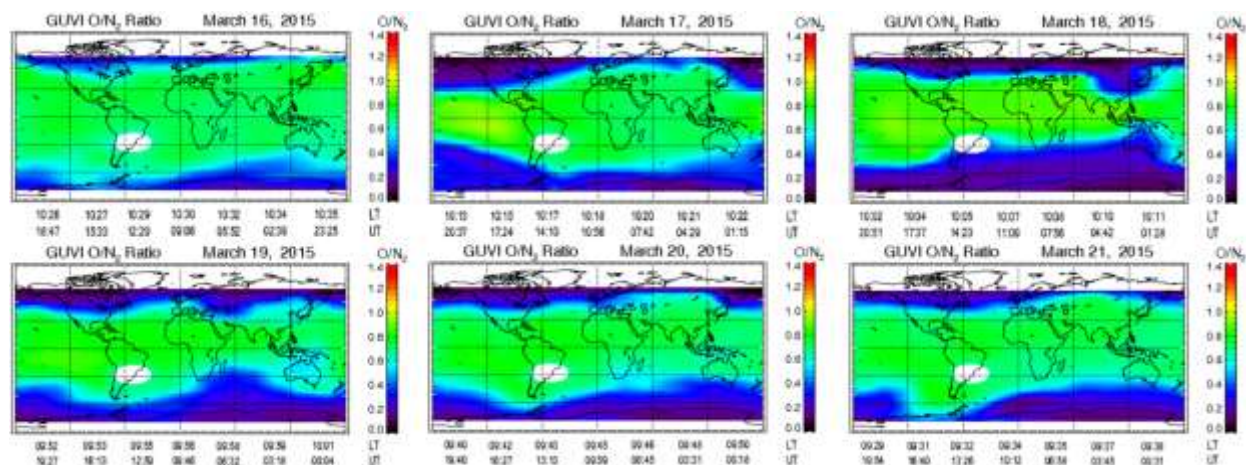


Рис. 111. Отношение $[O]/[N_2]$ на высотах нижней термосферы по спутниковым измерениям GUVI TIMED для отдельных дней марта 2015 г.

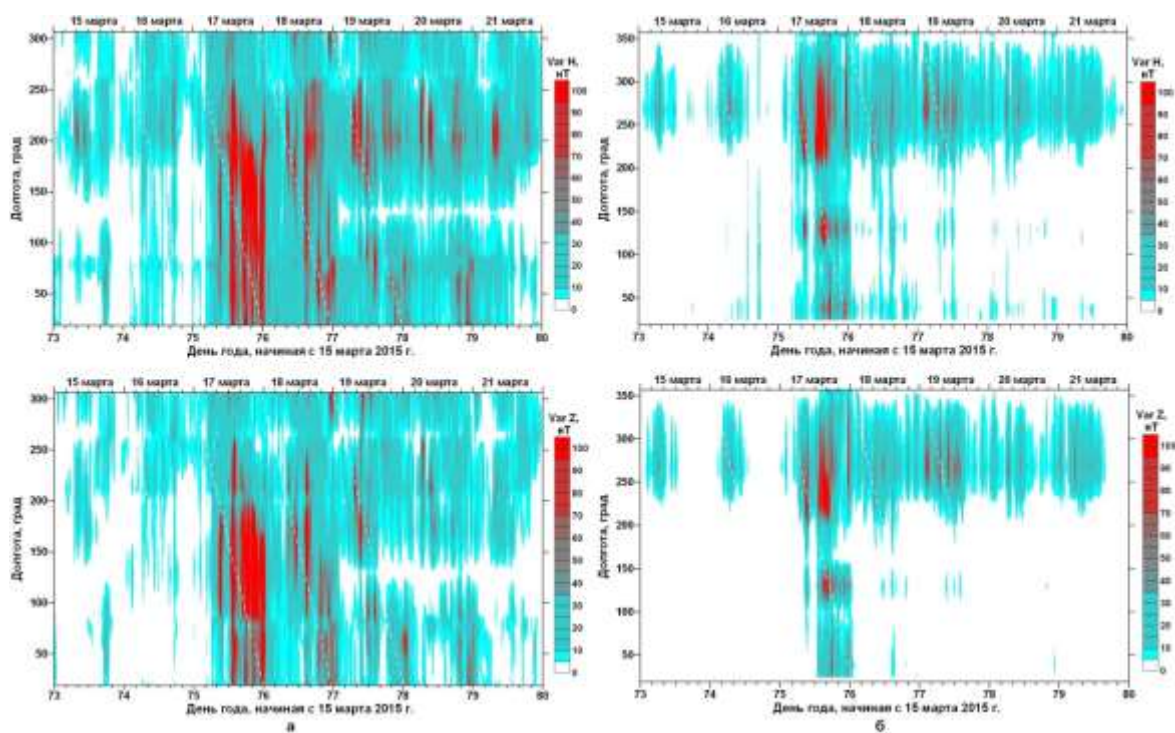


Рис. 112. Долготно-временные вариации отклонений H - и Z -компонент ГМП в высоких (а) и средних (б) широтах 15–21 марта 2015 г. (время UT)

Установление факта существенной долготной неоднородности ионосферы и связь этой неоднородной структуры с особенностями долготных вариаций геомагнитного поля является принципиально новым результатом [8], который требует дальнейшего исследования.

3.7.3. Описание особенностей низкочастотной изменчивости метеорологических полей в тропосфере и стратосфере в спокойные периоды и во время стратосферных потеплений. Модель динамики полярного вихря во время стратосферных потеплений в баротропном приближении

Возможность динамического воздействия на внезапные стратосферные потепления (ВСП) из низких широт в настоящее время проверяется на трехмерной модели средней и верхней атмосферы (МСВА) Погорельцева, однако некоторые особенности взаимодействий локальных образований с Полярным вихрем и стратосферным антициклоном во время ВСП могут быть проверены в простой квазигеострофической баротропной нелинейной дивергентной модели циркуляции [9,10]. Модель учитывает β -эффект, диффузию, обусловленную трением и турбулентной вязкостью. В качестве начальных условий в крупномасштабной модели задаются Полярный вихрь, стратосферные антициклоны (один или два) и возмущение (циклоническое или антициклоническое), имитирующее барические аномалии, распространяющиеся из низких широт в высокие. Полярный вихрь и стратосферные антициклоны поддерживались внешним источником завихренности. С помощью данной модели воспроизведены особенности меридионального дрейфа возмущений, распад Полярного вихря или его смещение в более низкие широты. Для численного решения уравнения использовался спектральный метод, шаг по времени составлял 0.01 сут., разложение ограничивалось гармоникой $n=13$ при треугольном усечении. На рис. 113 показан пример расчета эволюции функции тока при задании в начальный момент времени Полярного вихря, антициклона и антициклонического возмущения с центром на широте 60° N. На рис. 113, а приведены распределения функции тока через 2 сут в стереографической проекции в невозмущенных условиях (имитация зимней стратосферы), на рис. 113, б добавлен антициклонический вихрь над Азией, на рис. 113, в — два антициклонических вихря над Азией и Америкой. Полученные результаты, по крайней мере, при низком разрешении

не подтверждают исходное предположение, что локализованные возмущения при заданном распределении циклонов и антициклонов могут перемещаться к полюсу и приводить к разрушению Полярного вихря. В случае с одним антициклоном мы видим, что существенной деформации Полярного вихря не происходит. В случае с двумя антициклонами Полярный вихрь значительно деформируется и разрушается, однако, нетипичным для ВСП образом. Возможно, причиной является несовершенство модели, но может быть неверно исходное предположение о характере возмущений, которые приводят к крутильным колебаниям.

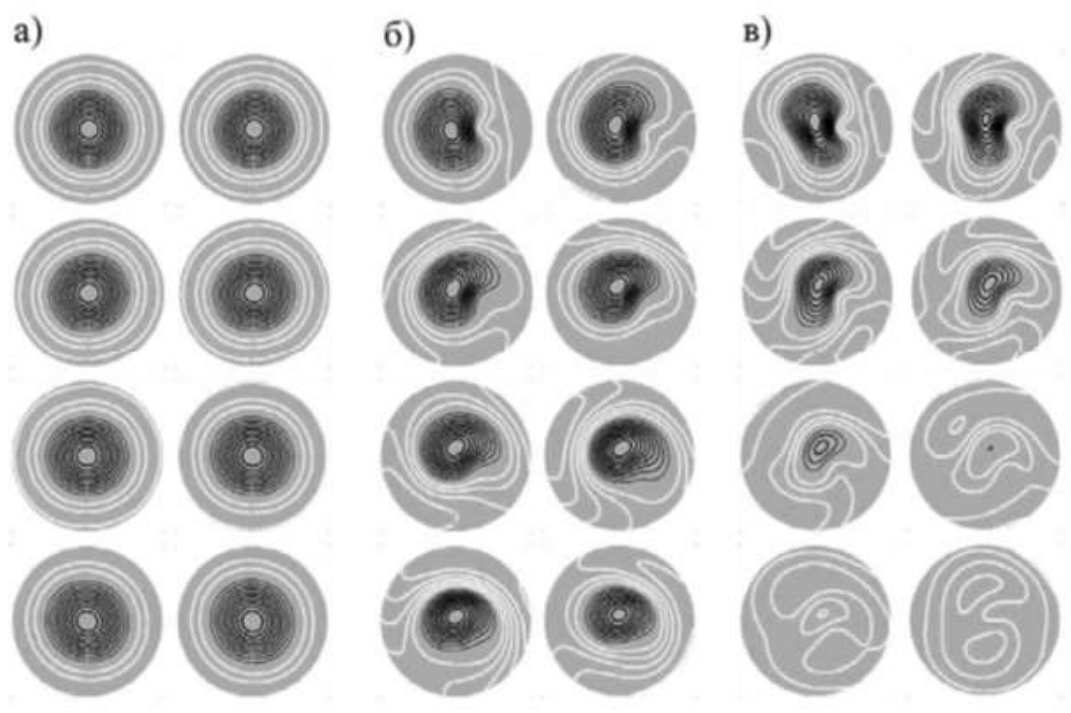


Рис. 113. Динамика распределений функции тока через двое суток при различных условиях: *а* — невозмущенные условия, *б* — с антициклоническим вихрем с центром на 60° N, 100° E, *в* — два антициклонических вихря над Азией 60° N, 100° E и Америкой 60° N, 120° W. Кадры изменяются слева направо и сверху вниз

3.7.4. Наблюдения кратковременных среднеширотных сияний синхронных с пульсациями геомагнитного поля

Проведено наблюдение кратковременных среднеширотных сияний, возникающих синхронно с пульсациями геомагнитного поля в непосредственной близости (около 100 км) от места наблюдения сияний. Наблюдения выполнялись в двух обсерваториях ИСЗФ СО РАН: Геофизической обсерватории (ГФО, Торы) и Саянской солнечной обсерватории (ССО, Монды) с использованием оптического и магнитометрического оборудования. Для наблюдения пульсаций геомагнитного поля использовался индукционный магнитометр LEMI-30, регистрирующий вариации геомагнитного поля в диапазоне 0.001–30 Гц. Для наблюдения оптических эффектов, возникающих синхронно с пульсациями геомагнитного поля, использовалась широкоугольная камера Keo Sentinel, регистрирующая фотоизображения ночного неба в спектральной линии 630.0 нм. Именно в этой линии наиболее ярко проявляются среднеширотные сияния, возникающие в результате геомагнитных бурь.

На рис. 114 показаны кадры, снятые фотокамерой и отражающие форму и динамику события. Кратковременное среднеширотное сияние заключалось в появлении двух пятен свечения, одно из которых было расположено практически над ССО, а другое — над южной оконечностью Байкала в районе населенного пункта Танхой. Размер пятен составлял несколько градусов, форма пятен вытянута в направлении восток—запад. Соотношение

продольного и поперечного размеров пятна $\sim 5:1$. Интенсивность превышала фоновую в 1.5 раза, причем интенсивность свечения западного пятна была несколько выше, чем восточного. Событие развивалось на фоне предрассветного увеличения интенсивности фонового свечения линии 630.0 нм, связанного с потоком вещества из освещенной Солнцем магнитосопряженной ионосферы. Продолжительность события — около 20 мин, что по времени совпадает с продолжительностью геомагнитных пульсаций. Возможной причиной выпадения частиц под действием пульсаций геомагнитного поля могут быть как заполненная веществом магнитосфера, поскольку событие происходило на фазе восстановления после суббуревой активности, так и особенности развития МГД-колебаний на солнечном терминаторе. По результатам наблюдений в настоящее время готовится публикация.

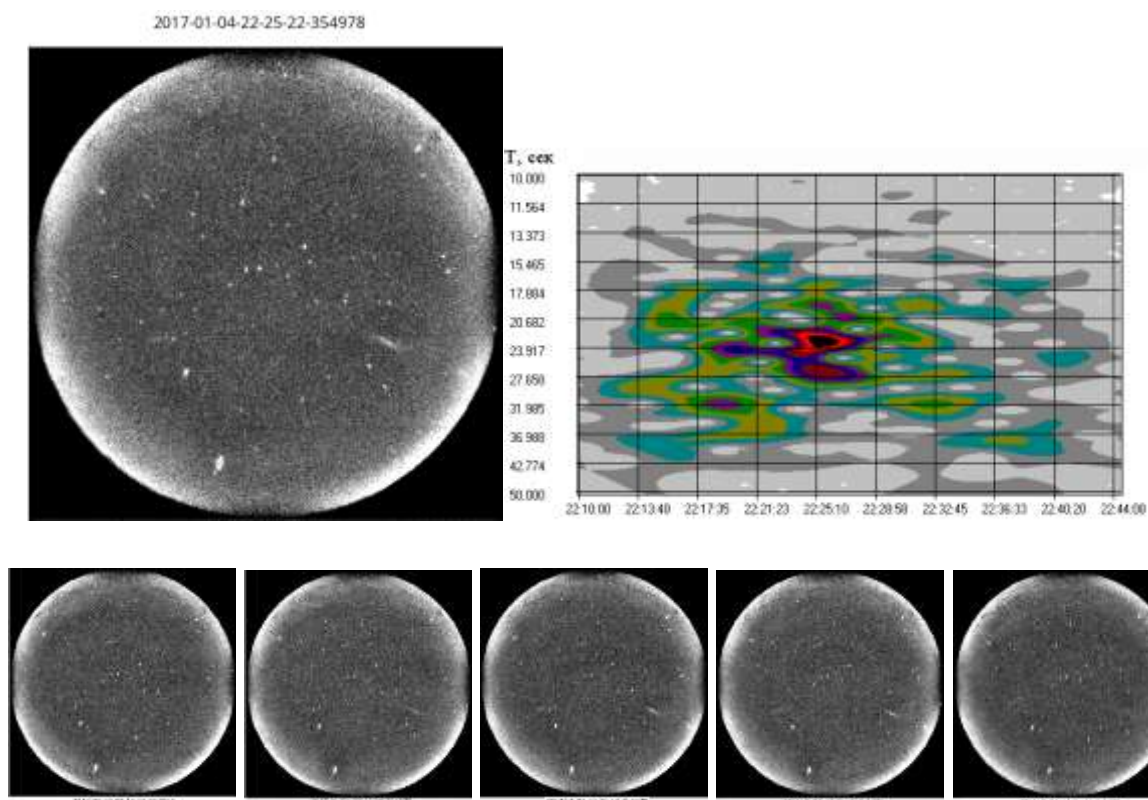


Рис. 114. Вверху слева — снимок широкоугольной зенитной камеры, работающей на линии свечения атомарного кислорода 630.0 нм (~ 250 км) с локальными сияниями для момента времени 22:25 UT 4 января 2017 г., полученный в ГФО, справа — периодограмма пульсаций горизонтальной компоненты геомагнитного поля, записанных в ССО в это же время. Изображения внизу — последовательность снимков широкоугольной камеры в 22:15, 22:22, 22:26, 22:28, 22:35 UT, отражающая динамику сияния

3.7.5. Идентификация причин и особенностей реакции ионосферы над Азиатским регионом во время наиболее сильной магнитной бури 24-го цикла солнечной активности

Важнейшим результатом выполнения проекта на этапе 2017 г. является выделение основных геофизических факторов, управлявших пространственно-временной динамикой ионосферных возмущений в Азиатском регионе во время сильнейшей в 24-м цикле солнечной активности магнитной бури 17–19 марта 2015 г. Результаты, полученные на основе комплексного анализа данных диагностических средств наземного и космического базирования, включая когерентный КВ-радар ИСЗФ СО РАН, ионозонды вертикального зондирования ионосферы и сеть КВ-радиотрасс, магнитометры, риометры (рис. 115), а также данные спутников ACE, TIMED и GPS позволили создать подробный сценарий развития ионосферных возмущений в Азиатском регионе от субполярных до низких широт [17–19].

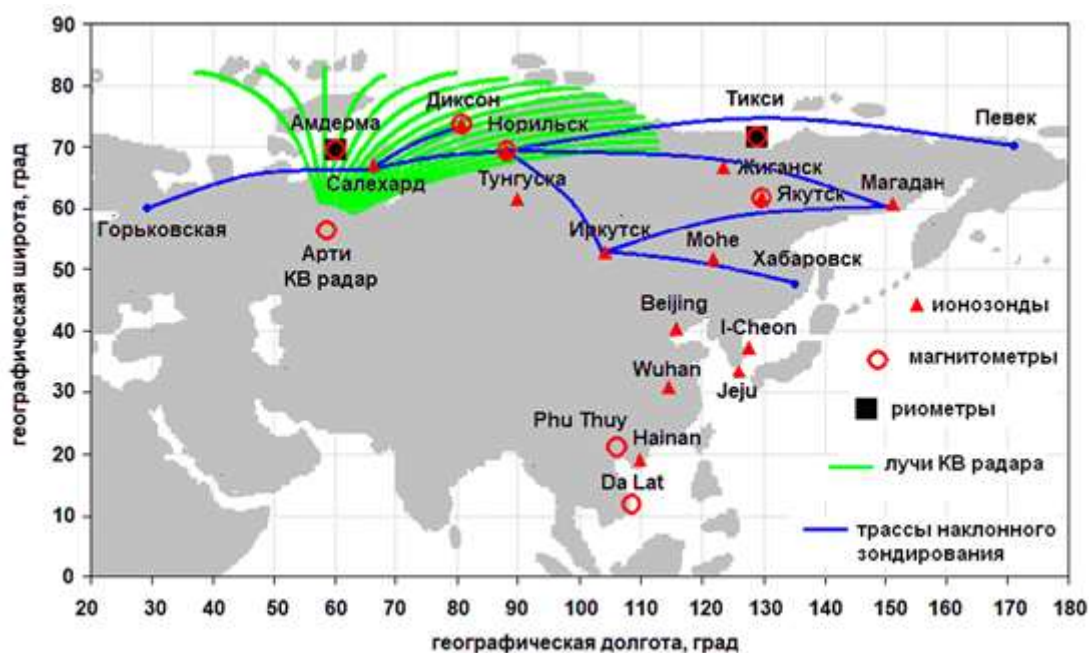


Рис. 115. Схема расположения наземных инструментов и сети КВ-радиотрасс

По данным сетей станций вертикального зондирования и радиотрасс наклонного зондирования ионосферы, расположенных в Азии (диапазон широт 70° – 19° N), и картам полного электронного содержания проведен анализ широтно-временных вариаций параметров ионосферы над Азиатским континентом во время главной и восстановительной фаз двухступенчатой магнитной бури 17–19 марта 2015 г. Полученные вариации критической частоты в период магнитной бури на широтной сети азиатских ионосферных станций показан на рис. 117. Видно, что заметные ионосферные возмущения возникли в субполярных, средних и низких широтах через 2.5, 4 и 5 ч после начала главной фазы бури. Динамика ионосферных возмущений в значительной мере определялась процессами ионосферно-магнитосферного взаимодействия. Смещение ГИП и зоны авроральных высыпаний привело к появлению интенсивных спорадических слоев и блэкаутов в высоких широтах в главную и восстановительную фазы бури. Крупномасштабные волновые возмущения, возникшие в субполярных областях в результате джоулева нагрева, вызвали положительное ионосферное возмущение на средних широтах во время первой ступени главной фазы. Во время второй ступени среднеширотное положительное возмущение сменилось отрицательным, на фоне которого наблюдались спорадические ионосферные слои E и F. Вариации ионосферных параметров, выявленные в данных вертикального и наклонного зондирования, и меридиональных распределений ПЭС указывают на то, что экваториальная стенка ГИП сместилась в это время до геомагнитной широты $\sim 42^{\circ}$.

Такое глубокое смещение границ ГИП и зоны диффузных высыпаний было вызвано сильным полем магнитосферной конвекции. Появление крайне низких значений критических частот отчетливо видно, например, на рис. 116 для среднеширотных станций Иркутск и Моhe.

На низких широтах электрическое поле ионосферного динамо вызвало резкое уменьшение критических частот f_oF2 в вечерние часы, что привело к нарушению обычного суточного хода, обусловленного проявлением экваториальной аномалии, и генерации спорадических слоев в вечерние и утренние часы. При этом волнообразные возмущения f_oF2 наблюдались только на низкоширотной станции Hainan в то время, когда она находилась на северном гребне экваториальной аномалии. Они были вызваны резкими изменениями электрического поля магнитосферного динамо [17].

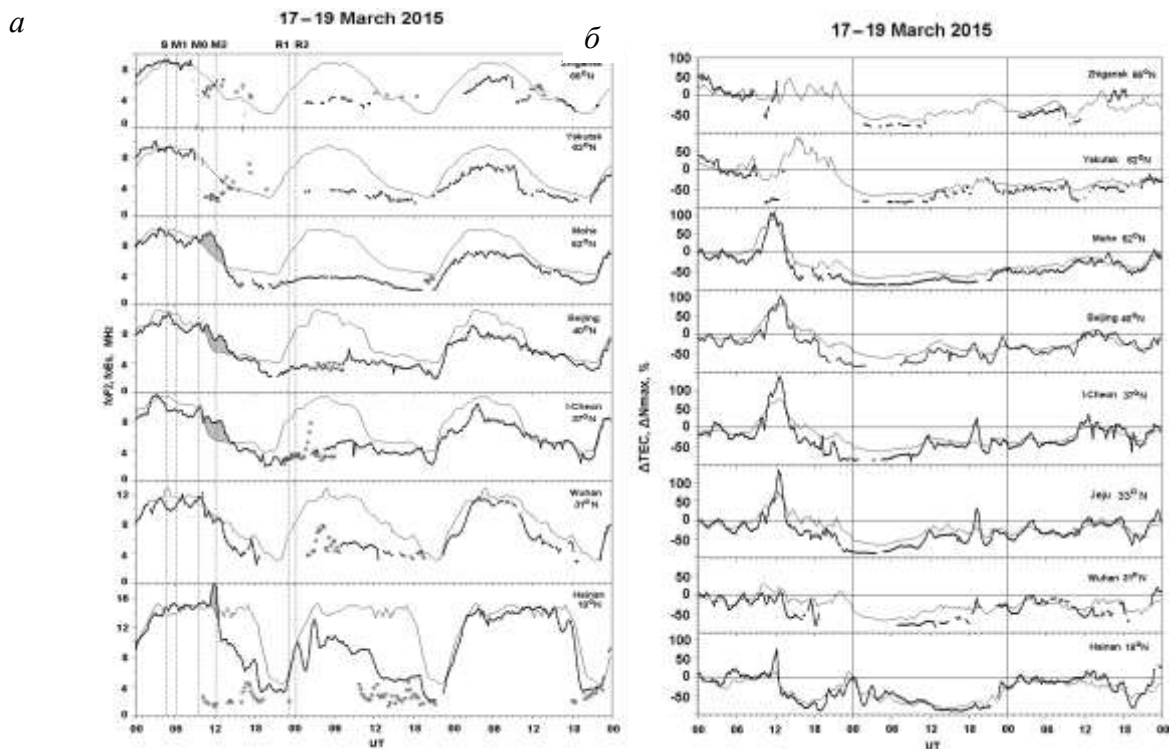


Рис. 116. Вариации критических частот f_oF2 17–19 марта 2015 г. (а); вариации полного электронного содержания (б): толстые линии — текущие значения, тонкие — f_oF2 для магнитоспокойных условий, звездочки — вариации предельных частот спорадических Е-слоев. Заштрихованные области соответствуют крупномасштабному ионосферному возмущению

Дополнительно к представленным выше результатам морфологического исследования ионосферной бури 17 марта 2015 г. был рассмотрен вопрос о возможности описания динамики сильной ионосферной бури на основе численной глобальной модели термосферы, ионосферы и протоносферы ГСМ ТИП [20]. С этой целью были выполнены модельные расчеты для двух близких по сезону и достаточно сильных геомагнитных возмущений: 17–18 марта 2013 г. (минимальное значение индекса $Dst = -132$) и 17–19 марта 2015 г. минимальное значение индекса $Dst = -222$). Сравнительный анализ результатов моделирования и данных наблюдений электронной концентрации в максимуме F2-слоя (N_{max}) над Иркутском (рис. 117), показывает, что модель ГСМ ТИП качественно правильно воспроизводит положительные ионосферные возмущения, однако занижает амплитуды отрицательных. При этом наибольшие различия между наблюдаемыми и рассчитанными значениями N_{max} приходятся на период наиболее сильной бури 17–18 марта 2015 г.

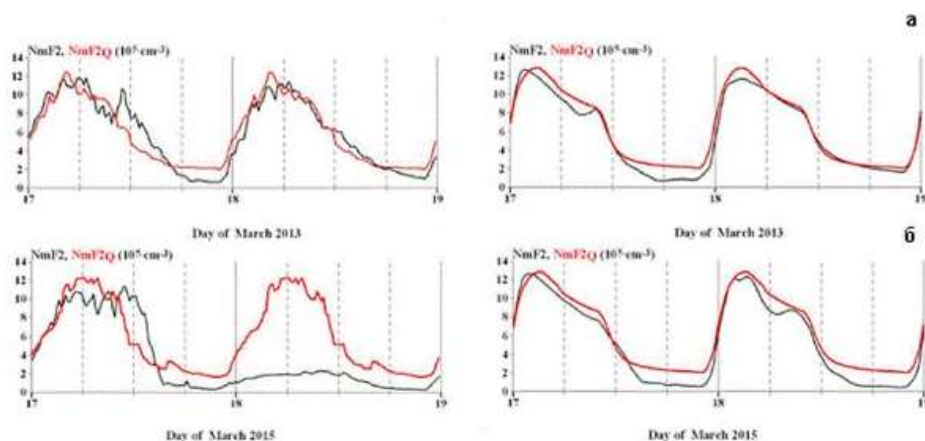


Рис. 117. Наблюдавшиеся (слева) и вычисленные (справа) по ГСМ ТИП вариации N_{max} над Иркутском 17–18 марта 2013 г. (а); 17–18 марта 2015 г. (б). Черные и красные кривые — возмущенные и спокойные вариации N_{max}

3.7.6. Анализ вариаций параметров магнитосферы во время суббурь с учетом данных сети магнитометров Северного и Южного полушарий

3.7.6.1. Насыщение магнитосферы в зависимости от вертикальной компоненты ММП и динамического давления СВ

В предшествующий период выполнения проекта было показано [21], что явление насыщения магнитосферы при усилении солнечного ветра (СВ) проявляется в замедлении: 1) роста площади полярной шапки S и втекающего через нее в ионосферу магнитного потока Ψ ; 2) уменьшения размера дневной магнитосферы не только при росте южной компоненты ММП B_s , но и динамического давления СВ P_d . Для интерпретации этого результата было сделано предположение, что рост полярной шапки ограничивается конечной сжимаемостью магнитосферы из-за быстрого роста геомагнитного поля при приближении к Земле.

В работе [22] по данным трех супербурь 24–25 сентября 1998, 6–7 апреля 2000 и 20 ноября 2003 г. выявлено насыщение потока Ψ при росте не только B_s и P_d , но и северной компоненты ММП (рис. 118). Уровень насыщения потока Ψ при северном ММП оказался ниже, чем при южном, что вызвано дополнительным сжатием магнитосферы при повороте ММП на юг. Показано также, что насыщение реализуется не только при малых значениях альфвеновского числа Маха $M_A = V_{CB}/V_A \sim 1 \div 2$, но и при его больших значениях $M_A = 5 \div 10$, когда значения параметра $\beta = p/p_{mag} \sim 1$. Это противоречит предположению [23, 24] о том, что насыщение обусловлено только ослаблением эффективности дневного пересоединения относительно роста B_s при малых значениях M_A и β , когда максвелловские натяжения останавливают растяжение линии пересоединения в магнитослое. Полученные результаты свидетельствуют в пользу нашего предположения о связи насыщения магнитосферы с ее конечной сжимаемостью.

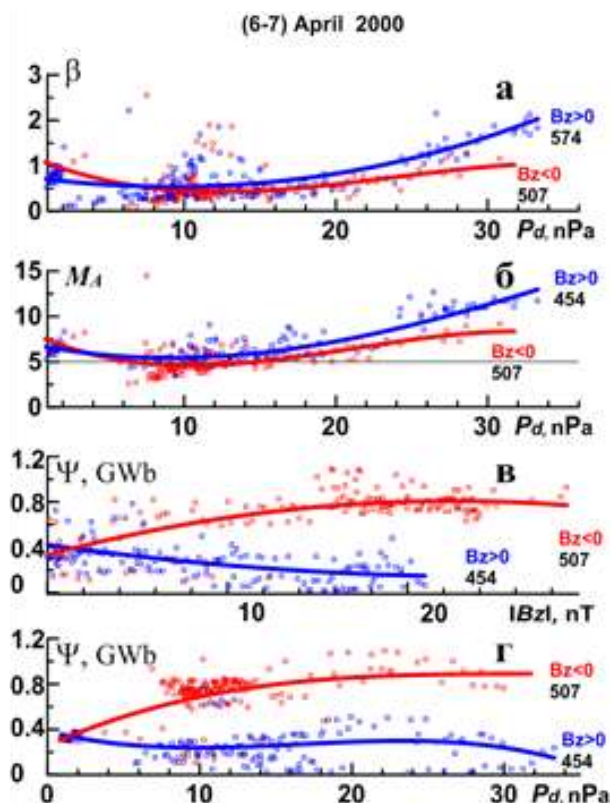


Рис. 118. Буря 6–7 апреля 2000 г. Изменения параметра β (а), альфвеновского числа Маха M_A в СВ (б) и магнитного потока полярной шапки $\Psi(t)$ в зависимости от B_z -компоненты ММП (в) и давления солнечного ветра P_d (г). Их значения показаны кружками, а аппроксимации полиномами — сплошными красными (синими) кривыми для направления ММП на юг (север). Черные цифры под $B_z > 0$ и $B_z < 0$ показывают количество точек в выборках. Величина потока Ψ до бури была равна $\Psi_0 = 0.17$ ГВб

3.7.6.2. Особенности формирования мелкомасштабных волновых возмущений во время резкого сжатия магнитосферы

По данным наземных и спутниковых наблюдений рассмотрены квазипериодические изменения геомагнитного поля и параметров плазмы в диапазоне Pc5-пульсаций, следовавшие сразу после взаимодействия межпланетной ударной волны (МУВ) с земной магнитосферой в событии 24.04.2009 г. в 00:53 UT [25]. Пульсации были локализованы на широтах 66° – 74° в полуденном (11 MLT) и вечернем (20 MLT) секторах. Анализ годографов изменений геомагнитного поля по спутниковым и наземным наблюдениям показал наличие вихревых возмущений. В данном событии фронт МУВ в межпланетной среде и фронт волны сжатия в магнитосфере имели наклон в плоскости $Z_{GSM}=0$, угол наклона составлял 14° в межпланетной среде и 34° в магнитосфере. Положение вихревых возмущений в магнитосфере на разном радиальном расстоянии: $X \sim 5.5R_E$ в полуденном секторе и $X \sim -6.3 \div -7.3R_E$ в вечернем секторе согласуется с наклоном фронта. По спутниковым наблюдениям максимальная интенсивность волновых возмущений в обоих секторах регистрировалась в тороидальной компоненте, что соответствовало резонансному механизму возбуждения этих возмущений. Анализ распределения скоростей течения плазмы и распространения фронта волны сжатия в магнитосфере показал, что вихревые возмущения наблюдались в областях, где скорости течения плазмы и распространения фронта значительно отличались по величине.

3.7.7. Гипотеза пинч-эффекта открытых долей хвоста магнитосферы во время суббури

Результат получен на основе анализа динамики 2D-карт распределений продольных токов и магнитного потока через полярную шапку в ходе изолированной суббури 27 августа 2001 г., рассчитанных методом техники инверсии магнитограмм (ТИМ).

Для модели взрывной фазы суббури с двойным началом (ЕО — expansion onset) известно следующее.

1. ЕО1 — начало магнитного пересоединения (MR1) силовых линий замкнутого хвоста (плазменного слоя), разрыв тока поперек хвоста и формирование токового клина суббури — диагностируется методом ТИМ по началу резкого увеличения интенсивности продольных токов в ночных ячейках зоны R1 Ииджимы—Потемры.

2. ЕО2 — начало магнитного пересоединения (MR2) силовых линий открытых долей хвоста (спустя $\Delta t \leq 2$ мин после MR1) — диагностируется методом ТИМ по началу резкого уменьшения магнитного потока ψ через полярную шапку.

Обнаружено, что резкий спад ψ происходит исключительно за счет сокращения площади предполуденного сектора полярной шапки, где одновременно наблюдается резкий рост интенсивности втекающего продольного тока зоны R0.

Для интерпретации этих фактов выдвинута гипотеза, что продольные токи двух полушарий Земли, втекающие в ионосферу вблизи границы предполуденной полярной шапки, создают пинч-эффект в разделительном слое между долями хвоста и триггируют ускоренное магнитное пересоединение открытых силовых линий на взрывной фазе магнитосферной суббури. Предложенный механизм, схематично показанный на рис. 119, дополняет существующую модель суббури с двойным началом.

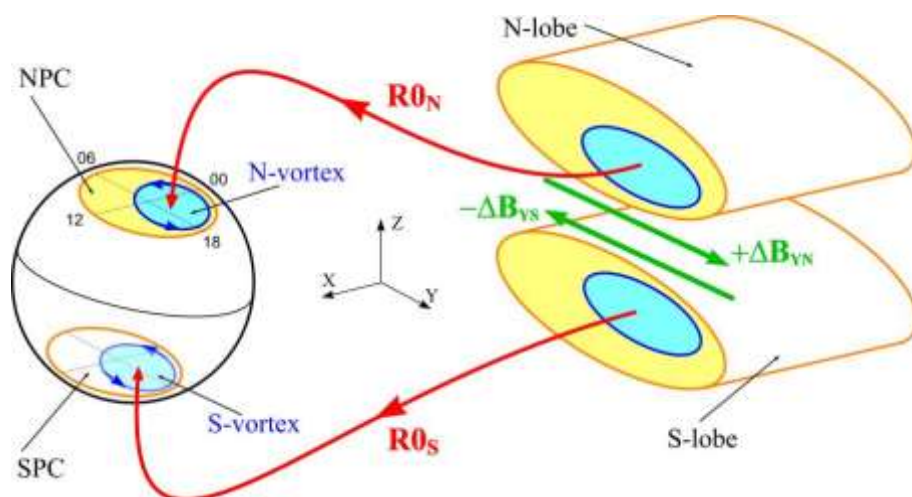


Рис. 119. Схема второго взрывного начала (EO2/MR2) суббури сразу после пересоединения замкнутых силовых линий (MR1) в среднем плазменном слое на $X \sim -20R_E$. Пинч-эффект токов R_{0N} и R_{0S} триггерует пересоединение открытых силовых линий долей хвоста

3.7.8. Модернизация программного комплекса техники инверсии магнитограмм

Техника инверсии магнитограмм (ТИМ) обеспечивает расчеты 2D-карт распределений эквивалентных токов, проводимостей, электрического потенциала, горизонтальных и продольных токов в высокоширотной ионосфере и целого ряда других параметров системы ионосфера—магнитосфера на основе геомагнитных данных мировой сети магнитометров.

Три года назад был намечен план модернизации программного комплекса ТИМ, включающий следующие основные задачи: 1) перевод всех программ на передовые языки программирования; 2) создание репрезентативной базы данных (БД) геомагнитных измерений, параметров солнечного ветра и ММП с разрешением 1 мин; 3) разработка алгоритма и программы автоматизированного метода определения границ аврорального овала; 4) разработка новой модели интегральной корпускулярной проводимости ионосферы; 5) развитие глобального метода ТИМ для расчетов выше указанных параметров в южном полушарии.

Вторая и третья задачи были в основном решены в 2017 г. При создании БД стало очевидно, что необходима специальная программа оперативной работы с большими объемами информации. Были разработаны алгоритм и программа.

3.7.8.1. Группировка больших объемов информации по вычисляемым признакам с помощью реляционных баз данных

Практически в любой задаче требуется обработка и хранение данных. Файлы являются традиционным способом хранения информации на внешнем носителе. Однако при всех своих достоинствах файлы имеют и целый ряд недостатков: данные в файлах не проверяются операционной системой на логическую целостность, согласованность и непротиворечивость; одновременное чтение-запись в файл затруднительно; трудности при организации работы с многотабличными, сложно-структурированными и взаимосвязанными данными; отсутствие обеспечения даже таких простых операций, как суммирование и сортировка данных. Все перечисленные задачи приходится реализовывать программным способом. Проблема усугубляется, если необходимо работать с файлами по сети и вести чтение-запись данных одновременно разными программами.

В программном комплексе ТИМ долгое время основным хранилищем информации были именно файлы со всеми вышеуказанными недостатками. При создании новой базы данных (БД) для хранения информации была использована реляционная система управле-

ния БД (РСУБД), свободная от этих недостатков и позволяющая решать задачи группировки больших объемов данных. Дополнительно был разработан метод предварительного расчета классифицирующих признаков, существенно упрощающий задачу группировки и сокращающий время обработки.

Новая методика была успешно апробирована для массива (250 сут) 1-минутных данных геомагнитных вариаций мировой сети магнитометров по узлам сетки в системе координат геомагнитная широта — местное геомагнитное время с одновременной группировкой по 4 уровням магнитной активности, заданным АЕ-индексами.

Тестирование показало, что группировка заданного объема данных на основе программной реализации заняла 1.7 сут, в то время как группировка на основе РСУБД и метода предварительного расчета классифицирующих признаков была на порядок быстрее (~3 ч).

3.7.8.2. Автоматизированный метод определения границ аврорального овала на основе техники инверсии магнитограмм

Разработан оригинальный метод автоматизированного определения границ аврорального овала на основе 2D-карт распределений эквивалентной токовой функции и продольных токов, рассчитываемых в программном комплексе ТИМ в приближении однородной проводимости ионосферы. Основные положения метода: граница обращения ионосферной конвекции (ключевое); взаимосвязь ионосферной конвекции и эквивалентной токовой функции; максимум модуля ротора дрейфовой скорости соответствует границе обращения конвекции.

В новом автоматизированном методе определяются граница обращения ионосферной конвекции, высокоширотная (полярная шапка) и низкоширотная границы аврорального овала, линии максимума плотности продольных токов в зонах I и II Ииджимы—Потемры и граница между этими зонами (линия максимума авроральных электроструй). Ранее все указанные границы определялись визуальным анализом карт продольных и эквивалентных токов, что занимало очень много времени (недели и месяцы).

Сравнение границ аврорального овала, полученных ручным и автоматизированным методами, показало, что коэффициент корреляции между соответствующими парами границ составляет в среднем 0.85, а среднеквадратичное отклонение между ними не превышает 2–3° по широте. При этом, обеспечивая достаточную точность определения границ, автоматизированный метод сокращает время обработки заданного количества карт на 2–3 порядка (до минут и часов), освобождая исследователя от трудоемкой визуальной работы.

Новый автоматизированный метод диагностики границ аврорального овала реализован как один из важных блоков в модернизированном программном комплексе ТИМ.

3.7.9. Список использованных источников

1. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Сравнительный анализ атмосферной и ионосферной изменчивости по измерениям температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации N_mF2 // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57, № 2. С. 236–248. DOI: 10.7868/S0016794017020109.
2. Medvedeva I., Ratovsky K. Studying atmospheric and ionospheric variabilities from long-term spectrometric and radio sounding measurements // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2015. V. 120, iss. 6. P. 5151–5159. DOI: 10.1002/2015JA021289.
3. Белецкий А.Б., Тащилин М.А., Михалев А.В., Татарников А.В. Спектральные измерения собственного излучения ночной атмосферы с помощью спектрографа Shamrock SR-303i // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13, № 3. С. 192–197.

4. Михалев А.В., Подлесный С.В., Стоева П.В. Свечение ночной атмосферы в RGB цветовом представлении // *Солнечно-земная физика*. 2016. Т. 2, № 3. С. 74–80. DOI: 10.12737/19040.
5. Rassoul H.K., Rohrbaugh R.P., Tinsley B.A., Slater D.W. Spectrometric and photometric observations of low-latitude aurorae // *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 1993. V. 98, N A5. P. 7695–7709.
6. Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Жеребцов Г.А., Медведева И.В., Михалев А.В., Сыренова Т.Е. Регистрация параметров верхней атмосферы Восточной Сибири при помощи интерферометра Фабри—Перо КЕО Scientific “Arinae” // *Солнечно-земная физика*. 2017. Т. 3, № 3. С. 70–87. DOI: 10.12737/szf-33201707.
7. Лобзин В.В., Павлов А.В. Связь интенсивности свечения субавроральных красных дуг с солнечной и геомагнитной активностью // *Геомагнетизм и аэрономия*. 1998. Т. 38, № 4. С. 49–61.
8. Шпынев Б.Г., Золотухина Н.А., Полех Н.М., Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Белинская А.Ю., Степанов А.Е., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А., Коренькова Н.А., Мелич Й. Исследование ионосферного отклика на сильную геомагнитную бурю в марте 2015 года по данным евразийской цепи ионозондов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14, № 4. С. 235–248.
9. Мордвинов В.И., Латышева И.В. Теория общей циркуляции атмосферы, изменчивость крупномасштабных движений. Иркутск: изд-во ИГУ, 2013. 193 с. ISBN 978-5-9624-0820-0.
10. Зоркальцева О.С., Мордвинов В.И., Изучение динамических процессов в стратосфере во время внезапных стратосферных потеплений с использованием нелинейной баротропной дивергентной модели циркуляции // *Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»*. С. 258–260.
11. Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Ratovsky K.G., Belinskaya A.Yu., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Grigorieva S.A., Panchenko V.A., Korenkova N.A., Mielich J. Ionospheric response to winter stratosphere — lower mesosphere jet stream in the northern hemisphere as derived from vertical radio sounding data // *J. Atmosph. Solar-Terr. Phys.* 2017. DOI: 10.1016/j.jastp.2017.08.033.
12. Ясюкевич А.С., Черниговская М.А., Мыльникова А.А., Шпынев Б.Г., Хабитуев Д.С. Сезонные вариации ионосферной возмущенности в различных гелиогеомагнитных условиях по данным GPS/ГЛОНАСС над регионами Восточной Сибири и Дальнего Востока // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14, № 4. С. 249–262.
13. Russell J.M., Mlynczak M.G., Gordley L.L., Tansock J.J., Esplin R.W. Overview of the SABER experiment and preliminary calibration results // *Proc. SPIE 3756. Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research III*. October 20, 1999. DOI: 10.1117/12.366382. <http://dx.doi.org/10.1117/12.366382>.
14. Schoeberl M.R., Douglass A.R., Hilsenrath E., Bhartia P.K., Beer R., Waters J.W., Gunson M.R., Froidevaux L., Gille J.C., Barnett J.J., Levelt P.F., DeCola P. Overview of the EOS aura mission (2006) // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. V. 44, N 5. P. 1066–1072.
15. Shiokawa K., Otsuka Y., Oyama S., et al. Development of low-cost sky-scanning Fabry—Perot interferometers for airglow and auroral studies // *Earth, Planets and Space*. 2012. V. 64, iss. 11. P. 1033–1046. DOI: 10.5047/eps.2012.05.004.
16. Harding B.J., Gehrels T.W., Makela J.J. Nonlinear regression method for estimating neutral wind and temperature from Fabry—Perot interferometer data // *Appl. Opt.* 2014. V. 53. P. 666–673. DOI: 10.1364/AO.53.000666.

17. Polekh N., Zolotukhina N., Kurkin V., Zhrebtsov G., Shi J., Wang G., Wang Z. Dynamics of ionospheric disturbances during the 17–19 March 2015 geomagnetic storm over East Asia // *Adv. Space Res.* 2017. V. 60. P. 2464–2476. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.09.030>.
18. Полех Н.М. и др. Геомагнетизм и аэрономия. 2016. Т. 56, № 5. С. 591–605. DOI: 10.7868/S0016794016040179.
19. Zolotukhina N.A. et al. // *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2017. V. 122. P. 2484–2504. DOI: 10.1002/2016JA023180.
20. Dmitriev A.V., Suvorova A.V., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Ratovsky K.G., Rakhmatulin R.A., Parkhomov V.A. Predictable and unpredictable ionospheric disturbances during St. Patrick's Day magnetic storms of 2013 and 2015 and on 8–9 March 2008 // *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2017. V. 122. P. 2398–2423. DOI: 10.1002/2016JA023260.
21. Mishin V.V., Mishin V.M., Karavaev Y., Han J.P., Wang C. Saturation of superstorms and finite compressibility of the magnetosphere: Results of the magnetogram inversion technique and global PPMLR-MHD model // *Geophys. Res. Lett.* 2016. V. 43. P. 6734–6741. DOI: 10.1002/2016GL069649.
22. Мишин В.В., Караваев Ю.А. Насыщение магнитосферы во время супербурь: новые результаты техники инверсии магнитограмм // *Солнечно-земная физика.* 2017. Т. 3, № 3. С. 30–39. DOI: 10.12737/szf-33201704.
23. Lavraud B., Borovsky J.E. Altered solar wind–magnetosphere interaction at low Mach numbers: coronal mass ejections // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. A00B08. DOI: 10.1029/2008JA013192.
24. Lopez R.E., Bruntz R., Mitchell E.J., et al. Role of magnetosheath force balance in regulating the dayside reconnection potential // *J. Geophys. Res.* 2010. V. 115. A12216. DOI: 10.1029/2009JA014597.
25. Моисеев А., Байшев Д., Мишин В., Уозуми Т., Йошикава А., Ду А. Особенности формирования мелкомасштабных волновых возмущений во время резкого сжатия магнитосферы // *Солнечно-земная физика.* 2017. Т. 3, № 2. С. 36–44. DOI: 10.12737/22606.

3.8. Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве

3.8.1. Новый механизм генерации азимутально-мелкомасштабных УНЧ-волн

Большую роль в динамике магнитосферной плазмы играют азимутально-мелкомасштабные ультранизкочастотные (УНЧ) волны типа Pc4-5. Обычно считается, что эти волны генерируются высокоэнергичными частицами при резонансе с волной при условии неравновесности функции распределения частиц.

В работе [1] предложен новый механизм генерации этих волн. Была рассмотрена горячая неоднородная плазма в дипольно-подобном магнитном поле. В этих условиях в плазме могут существовать волны двух типов: альфвеновские и дрейфово-компрессионные, являющиеся собственными колебаниями кольцевого тока. Как правило, частота второй ниже, но сильно зависит от азимутального волнового числа m .

При росте азимутального волнового числа дрейфово-компрессионная мода приобретает ту же самую частоту, что и альфвеновская. Тогда эти две ветви колебаний могут слиться и образовать две другие моды (дрейфовые моды сцепления) с одинаковой реальной частью частоты, но различными по знаку мнимыми частями. Это слияние может произойти при условии, что длина волны дрейфово-компрессионной моды вдоль силовой линии возрастает с увеличением частоты волны. Это возможно при условии, что частота волны больше частоты дрейфа ионов. Одна из дрейфовых мод сцепления является растущей за счет неустойчивости. Определены условия этой неустойчивости и ее инкремент.

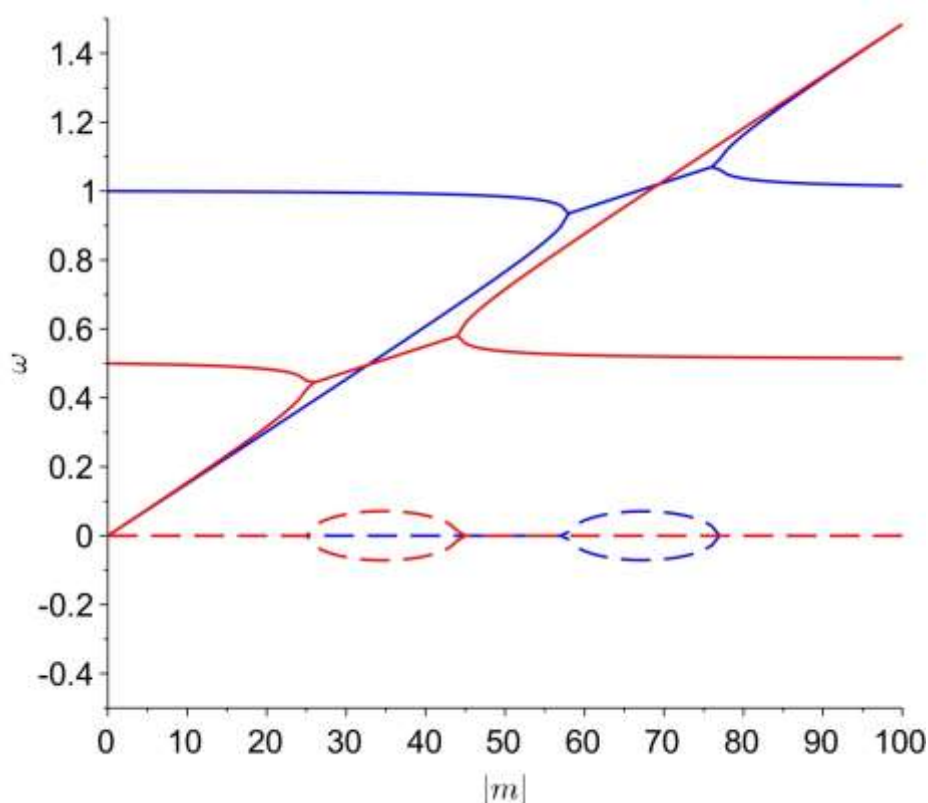


Рис. 120. Зависимость частоты альфвеновских и дрейфово-компрессионных мод от азимутального волнового числа. Сплошной линией показана реальная часть частоты, штриховой — мнимая. Красный и синий цвет — моды при разных параметрах плазмы

При дальнейшем росте азимутального волнового числа стабильная и неустойчивая моды сцеplения вновь сливаются, снова образуя альфвеновскую и дрейфово-компрессионную моды.

3.8.2. Характеристики токовых слоев внутри областей взаимодействия быстрого и медленного солнечного ветра

Оценена частота появления и основные характеристики токовых слоев и плазменных областей с высоким значением параметра β внутри сдвиговой зоны коротирующих областей взаимодействия быстрого и медленного солнечного ветра (corotating interaction regions, CIR) [4]. В 30 проанализированных событиях CIR обнаружено 127 токовых слоев с плотностью тока более 0.12 A/m^2 и только 41 слой с повышенным значением $\beta > 5$. Получены оценки того, насколько часто фронт CIR-потоков совпадает с гелиосферным токовым слоем. В рассмотренных событиях полное совпадение (в пределах часа) имело место в 17 % случаев, а в половине случаев связь фронта CIR с гелиосферным токовым слоем отсутствовала полностью. Рассмотрено одно событие прохождения потока CIR через магнитосферу путем сопоставления измерений компонент межпланетного магнитного поля и плазменных параметров в потоке двумя космическими аппаратами, один из которых находился в точке либрации L1, другой — в удаленном геомагнитном хвосте (рис. 121, a). Показано, что общая структура потока сохранилась (рис. 121, b), удалось проследить и перенос некоторых деталей тонкой структуры, например, магнитной дыры — резкого в несколько раз понижения модуля ММП. В то же время хвостовая часть сдвиговой зоны оказалась деформированной.

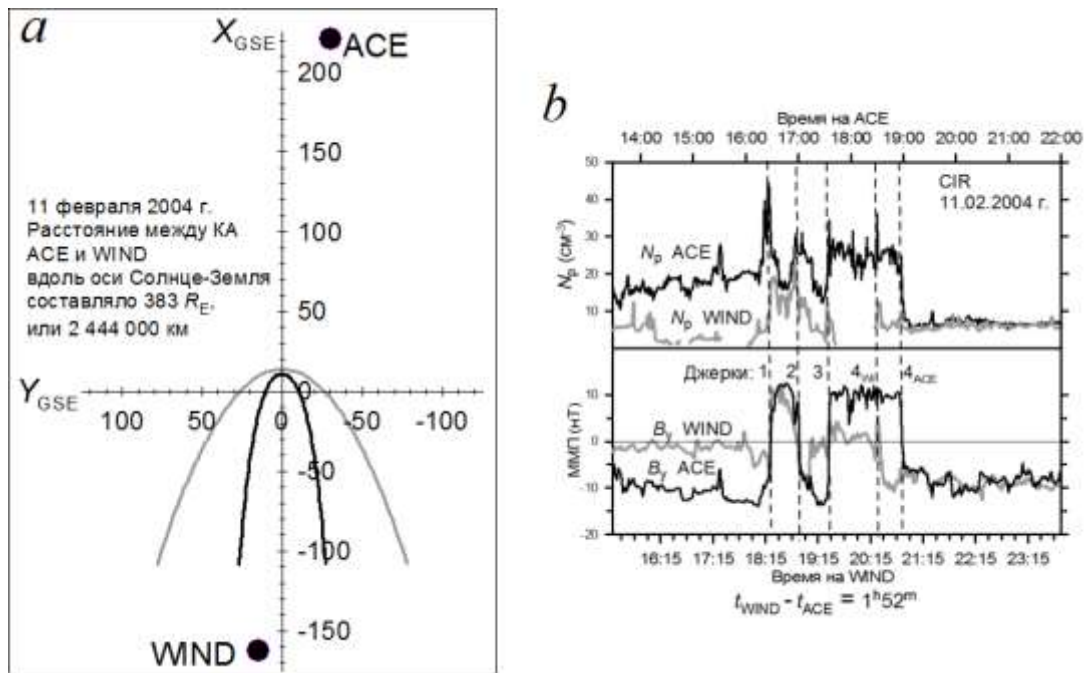


Рис. 121. Взаимное расположение спутников ACE и WIND (черные кружки) 11 февраля 2004 г. (a). Серой линией показано схематическое изображение околоземного ударного фронта, черной — магнитопаузы; b — вариации плотности плазмы и компонент ММП по наблюдениям на ACE в сравнении с данными WIND, сдвинутыми по времени на 1 ч 52 мин

3.8.3. Вычисление потока энергии волн во фланговых областях магнитосферы

Рассмотрено распространение УНЧ- (ультранизкочастотных) колебаний в земной магнитосфере [7]. Рассчитан поток энергии волн во фланговых областях магнитосферы. Волны захватываются в двумерно-неоднородный волновод, образованный неоднородностью плазмы, распространяются от подсолнечной точки к флангам и в хвост магнитосферы и усиливаются неустойчивостью Кельвина—Гельмгольца и проникновением колебаний солнечного ветра. Произведена аналитическая оценка устанавливающегося фона колебаний.

Показано, что волны верхней части спектра ультранизкочастотных колебаний, к которым относятся пульсации Pc3, локализуются вблизи подсолнечной точки, а низкочастотной части (Pc5) — вблизи флангов. Локализация обеспечивается свойствами магнитосферного МГД-волновода, а именно, характером неоднородности плазмы в рассматриваемых областях внешней магнитосферы. Такие фильтрационные свойства волновода полностью согласуются с экспериментально наблюдаемым распределением поля пульсаций.

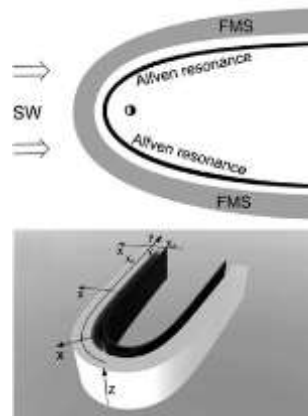


Рис. 122. Модель среды, использованная для вычисления потока волновой энергии на флангах магнитосферы

3.8.4. Рассеяние длинных линейных поверхностных волн на стационарных течениях

Аналитически исследовано рассеяние длинных линейных поверхностных волн на стационарных течениях в каналах переменного сечения [5, 6]. Задача решена в двух постановках: 1) ширина и глубина меняются скачком; 2) для течений постоянной глубины, скорость которых линейно возрастает или убывает вдоль потока за счет постепенного изменения ширины канала на некотором его протяжении.

Вычислены коэффициенты отражения и прохождения как функции частоты падающей волны для всех возможных случаев до-, сверх- и транскритических течений. Для полноты исследовано распространение волн как в направлении течения, так и против него в ускоряющихся и замедляющихся потоках. Показано, что, если в каналах с резким изменением площади сечения задача о транскритическом течении не всегда имеет решение, в каналах с плавным изменением ширины решение существует и однозначно во всех случаях.

Для обгоняющих течение высших мод собственных колебаний сдвигового течения с двумя тонкими пикноклинами и без точек перегиба на профиле скорости аналитически исследовано изменение собственной функции при вариации числа Ричардсона, включая перераспределение узлов.

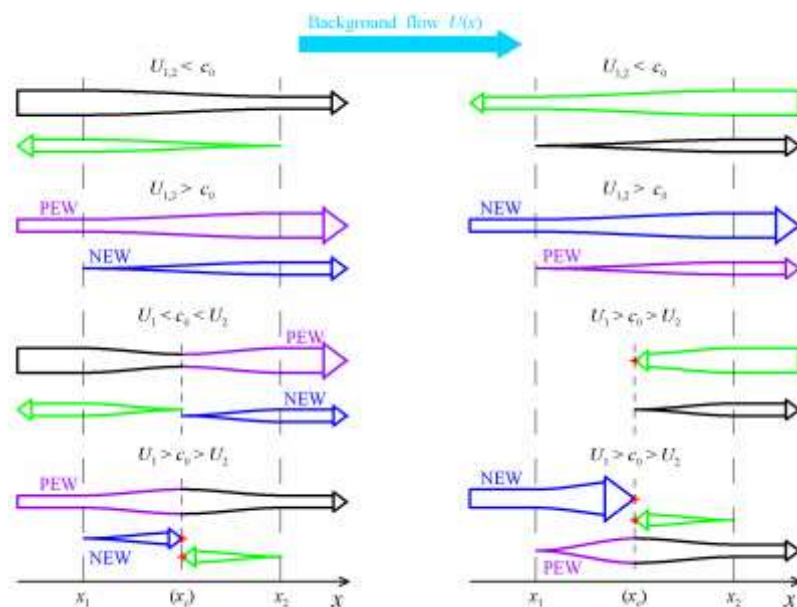


Рис. 123. Режимы распространения волн на течениях, скорость которого $U(x)$ линейно изменяется с x от U_1 до U_2 на интервале $x_1 < x < x_2$. В транскритических течениях переход $U(x)$ через скорость волн c_0 на неподвижной воде происходит при $x=x_c$. PEW/NEW — волны положительной/отрицательной энергии, ширина изображающей волну стрелки пропорциональна абсолютному значению переносимого волной потока энергии. Крестиком отмечено поглощение волны в критической точке

3.8.5. Аналитическое и численное исследование устойчивости сферических звездных систем с почти радиальными орбитами

Звездные системы с радиально вытянутыми орбитами подвержены так называемой неустойчивости радиальных орбит (НРО), впервые предсказанной Поляченко и Шухманом в 1972 г. Эта неустойчивость, как в настоящее время почти считается общепринятым, играет важную роль в формировании структуры эллиптических галактик на ранней стадии их эволюции. Антонов в 1973 г. первым представил формальное аналитическое доказательство неустойчивости сферических систем с чисто радиальными орбитами. Эта работа Антонова считается классической и цитируется во всех работах по соответствующей тематике. Однако рассмотренные им системы являются сильно неоднородными по плотно-

сти и имеют сингулярность в центре не слабее, чем $1/r^2$. Это обстоятельство привело к некорректности доказательства Антонова, хотя конечный вывод о неустойчивости таких систем сомнений не вызывал. Сомнения в его правильности иногда проскальзывали в работах некоторых западных авторов. Попытка исправления этой некорректности мотивировала выполнение настоящей работы [2, 3].

Оказывается, доказательство возможности неустойчивости можно модифицировать, если рассматривать в качестве фоновой равновесной системы не модель с чисто радиальными орбитами, а модель с орбитами, близкими радиальным. Это позволяет устранить центральную сингулярность плотности. С этой целью мы построили серию несингулярных моделей, являющуюся обобщением известной серии так называемых обобщенных политропных моделей. Достаточная простота этой серии позволила вывести и решить интегральные уравнения для определения собственных мод в системах с почти радиальными орбитами. Кроме того, удалось установить соответствие с подходом Антонова и прояснить смысл расходящихся интегралов, фигурирующих в его доказательстве.

Было показано, что инкремент неустойчивости, являющийся максимальным для квадрупольных мод, деформирующих сферу в эллипсоид, стремится к бесконечности по мере того как система становится все более радиально анизотропной (все орбиты становятся все более радиально вытянутыми). Неустойчивость имеет место как для четных, так и для нечетных сферических гармоник, причем рост возмущений происходит очень быстро за время, меньшее, чем время орбитального пробега звезды. Последнее обстоятельство заставляет признать неадекватной интерпретацию НРО на языке орбит, т. е. в терминах, где вместо отдельных звезд оперируют с их орбитами. Такая интерпретация НРО является достаточно популярной в литературе, однако результаты настоящей работы ставят под сомнение такой орбитальный подход, по крайней мере, для систем, далеких от порога неустойчивости.

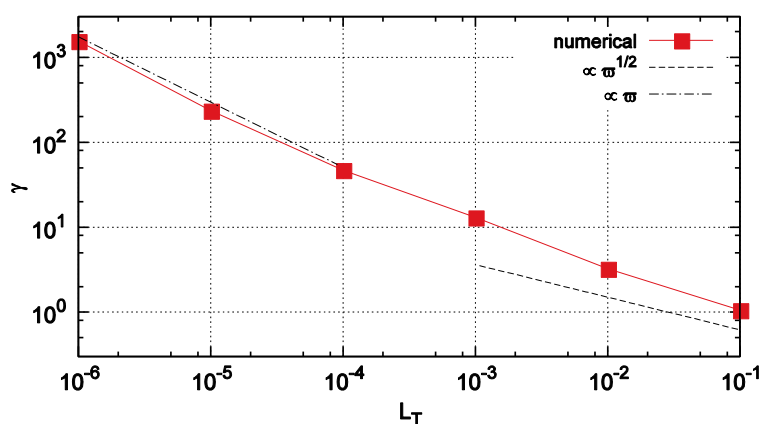


Рис. 124. Зависимость инкремента неустойчивости квадрупольной моды от параметра L_T , характеризующего степень размазки функции распределения по угловым моментам L_T ($L_T=0$ соответствует модели с чисто радиальными орбитами). Видно, что инкремент стремится к бесконечности при $L_T \rightarrow 0$. Инкремент приведен в единицах частоты орбитального пробега звезды

3.8.6. Список использованных источников

1. Mager P.N., Klimushkin D.Yu. Non-resonant instability of coupled Alfvén and drift compressional modes in magnetospheric plasma // Plasma Physics and Controlled Fusion. 2017. V. 59, iss. 9. Article id. 095005 (2017). DOI: 10.1088/1361-6587/aa790c.
2. Karp M., Shukhman I.G., Cohen J. The evolution of finite-amplitude localized vortices in planar homogenous shear flows // Phys. Rev. Fluids. 2017. V. 2. P. 024701.
3. Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Radial orbit instability in systems of highly eccentric orbits: Antonov problem reviewed // Monthly Notices of Roy. Astron. Soc. 2017. V. 470. P. 2190–2203.

4. Potapov A.S., Polyushkina T.N., Tsegmed B., Oinats A.V., Pashinin A.Yu., Edemskiy I.K., Mylnikova A.A., Ratovsky K.G. Considering the potential of IAR emissions for ionospheric sounding // J. Atmosph. Solar-Terr. Phys. 2017. V. 164. P. 229–234.
5. Churilov S., Ermakov A., Rousseaux G., Stepanyants Y. Scattering of long water waves in a canal with rapidly varying cross-section in the presence of a current // Phys. Rev. Fluids. 2017. V. 2. P. 094805. DOI: 10.1103/PhysRevFluids.2.094805.
6. Churilov S., Ermakov A., Stepanyants Y. Wave scattering in spatially inhomogeneous currents // Phys. Rev. 2017. V. D96. P. 064016. DOI: 10.1103/PhysRevD.96.064016.
7. Mazur V. A., Chuiko D. A. Energy flux in 2D MHD waveguide in the outer magnetosphere // J. Geophys. Res. 2017. V. 122. P. 1946–1959. DOI:10.1002/2016JA023632.
8. Гульельми А.В., Потапов А.С. Влияние межпланетного магнитного поля на УНЧ-колебания ионосферного резонатора // Косм. иссл. 2017. Т. 55, № 4. С. 263–267.
9. Костарев Д.В., Магер П.Н., Дрейфово-компрессионные волны, распространяющиеся в направлении дрейфа энергичных электронов в магнитосфере // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3. № 3.

3.9. Исследование и мониторинг магнитосферно-ионосферных возмущений с использованием пространственно-разнесенных геофизических комплексов

3.9.1. Круглогодичный круглосуточный мониторинг магнитосферно-ионосферных возмущений на сети пространственно-разнесенных геофизических комплексов ИСЗФ СО РАН

В обсерваториях ИСЗФ СО РАН проводится круглогодичный круглосуточный мониторинг следующих параметров околоземного космического пространства:

- геомагнитного поля Земли в различных диапазонах частот;
- ионосферы в средних и авроральных широтах;
- атмосферного электричества;
- ПЭС по данным геостационарных спутников;
- инфразвука;
- полярных сияний в авроральных и средних широтах.
- сейсмической активности в районе акватории оз. Байкал.

Материалы стандартных обсерваторских наблюдений доступны на сайте института www.iszf.irk.ru, а результаты специально организованных экспериментов хранятся в научных подразделениях, проводящих исследования по тематике экспериментов.

3.9.2. Результаты исследований магнитосферно-ионосферных взаимодействий по материалам экспериментальных наблюдений в обсерваториях Института

3.9.2.1. Исследование режима возбуждения геомагнитных пульсаций в глобальном масштабе на начальной стадии магнитной бури 17 марта 2015 г.

В статьях [1, 2] сообщалось о кратковременных (≤ 20 с) импульсных всплесках геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне 0.2–7 Гц, предваряющих внезапное начало геомагнитных бурь. Характерным признаком всплесков является гребнеобразный характер распределения энергии в спектре колебаний — энергия колебаний возрастает на определенных частотах. Подобная структура спектров названа резонансной, или спектральной резонансной структурой (СРС) [3–7]. В настоящем разделе приведены новые данные о свойствах всплесков геомагнитных пульсаций, имеющих СРС, по наблюдениям во время внезапного начала наиболее сильной за последние четыре года магнитной бури 17 марта 2015 г., которая получила собственное имя Святого Патрика.

Внезапное начало SSC* (* означает наличие предварительного обратного импульса перед главным положительным возрастанием внезапного начала бури) зарегистрировано в 04:45 UT. Начальная фаза бури, вызванная усилением тока на магнитопаузе DCF из-за сжатия магнитосферы, длилась ~2 ч с максимальным значением 67 нТл в 04:48 UT. Затем развивалась главная фаза, вызванная резким возрастанием кольцевого тока с максимальным значением *Dst*-индекса, равным 228 нТл в 23 UT 18 марта. Буря сопровождалась пятью мощными суббурями (*AE*~2300 нТл) и полярными сияниями на средних широтах [8].

Список и координаты обсерваторий, тип установленных на них магнитометров и частота дискретизации приведены в табл. 10.

Таблица 10. Список и координаты обсерваторий, тип установленных на них магнитометров и частота дискретизации

Название станции	Географическая широта, град	Географическая долгота, град	Тип магнитометра, частота опроса
Barentsburg (BRB)	70°.20	15°.82	Индукционный, 40 Гц
Lovozero (LOZ)	67°.97	35°.08	Индукционный, 40 Гц
Mondy (MND)	51°.6	100°.9	Индукционный, 64 Гц
Thief River Falls (THRF)	48.027	263.635	Индукционный, 20 Гц
Ministik Lake (MSTK)	53.351	247.026	Индукционный, 20 Гц; Феррозондовый
Rabbit Lake (RABB)	58°.22	256°.32	Индукционный, 20 Гц; Феррозондовый
Island Lake (ISLL)	53°.86	265°.34	Индукционный, 20 Гц; Феррозондовый
Dawson (DAWS)	64°.05	220°.89	Индукционный, 20 Гц; Феррозондовый
Fort Smith (FSMI)	60°.02	248°.05	Индукционный, 20 Гц; Феррозондовый
Fort Churchill (FCHU)	58°.76	265°.92	Индукционный, 20 Гц; Феррозондовый
Pinava (PINA)	50°.20	263°.96	Индукционный, 20 Гц; Феррозондовый
Barrow (BRW)	71°.32	203°.38	Феррозондовый 1 Гц
College (CMO)	64°.86	212°.16	Феррозондовый 1 Гц
Irkutsk (IRT)	52°.27	104°.45	Феррозондовый 1 Гц
Tumanny (TUM)	69.07	35.73	Риометр 0.016 Гц

Фрагменты магнитограммы обсерватории Иркутск и спектрограмм всплеска (цуга) геомагнитных пульсаций на среднеширотной обсерватории Монды показаны на рис. 125. В момент SSC на магнитограмме Иркутска, находящейся вблизи полудня, виден скачок *H*-компоненты 46 нТл.

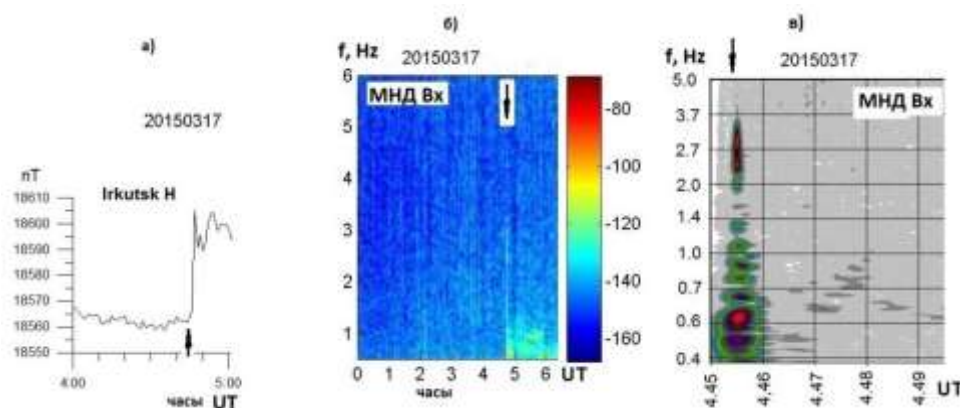


Рис. 125. Фрагменты магнитограммы (*H*-компонента) обсерватории Иркутск (а); спектрограммы (б); СВАНограммы цуга пульсаций на среднеширотной обсерватории Монды (в)

На рис. 126 приводятся фрагменты осциллограмм индукционных магнитометров на мировой сети станций, координаты которых даны в табл. 10. Обсерватория Монды расположена вблизи полуденного меридиана, обсерватории сети CARISMA находятся в вечерне-полуночном секторе, а обсерватории Баренцбург и Ловозеро — в утреннем секторе. Видно, что в обсерватории Монды в ~ 04.45:32 UT регистрируется начало цуга колебаний длительностью 3 с. Цуг колебаний (обозначен прямоугольником) имеет каплеобразную форму огибающей амплитуды и нарастание периода к концу события. Форма цуга и динамика изменения периода сохраняются на всех обсерваториях.

На спектрограмме (рис. 125, б) в рассматриваемый момент виден кратковременный шумовой всплеск с ослаблением и усилением энергии на отдельных частотах, поэтому на спектрограмме всплеск выглядит в виде пунктира (обозначен вертикальной стрелкой сверху), т. е. спектр цуга колебаний имеет гребнеобразный (резонансный) характер. Наивысшая отождествляемая частота на спектрограмме равна ~4.5 Гц. Более четко СРС видна на динамическом спектре, вычисленном с помощью программы СВАН (рис. 125, в). Спектрально-временной анализ сигналов (СВАН) заключается в линейной фильтрации исходного сигнала $f(t)$ набором узкополосных частотных фильтров и представления амплитуды огибающей и фазы отфильтрованных сигналов в виде функции двух переменных: времени и центральной частоты фильтра [9]. Здесь верхняя отождествляемая частота, так же как и на спектрограмме (рис. 129, б) ~4.5 Гц, а на частоте ~2.7 Гц видно резкое усиление мощности колебаний (красный цвет соответствует максимальной спектральной мощности). В динамическом спектре можно выделить резонансные частоты 1.35, 1.1, 0.91, 0.78, 0.65 и 0.5 Гц. Представленные спектры всплеска колебаний подобны описанным нами в [1, 2], однако значения резонансных частот различаются. В случае 23.IV.2012 г., приведенном в [1], максимумы энергии в спектре наблюдались в диапазоне частот 0.3–1.7 Гц на разных обсерваториях. Подобная спектральная структура видна и на других станциях (рис. 129). На рис. 127 видно также, что вслед за всплеском генерируются колебания Pс1.

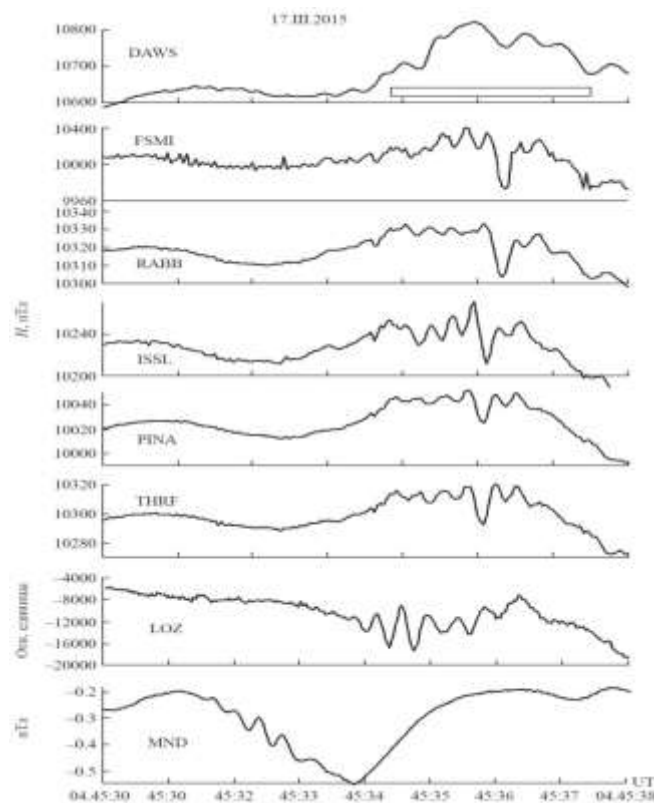


Рис. 126. Сверху вниз: фрагменты осциллограмм индукционных флюксометров на мировой сети обсерваторий. Прямоугольником обозначен цуг пульсаций (предвестник SSC*), имеющий резонансную структуру спектра (СРС)

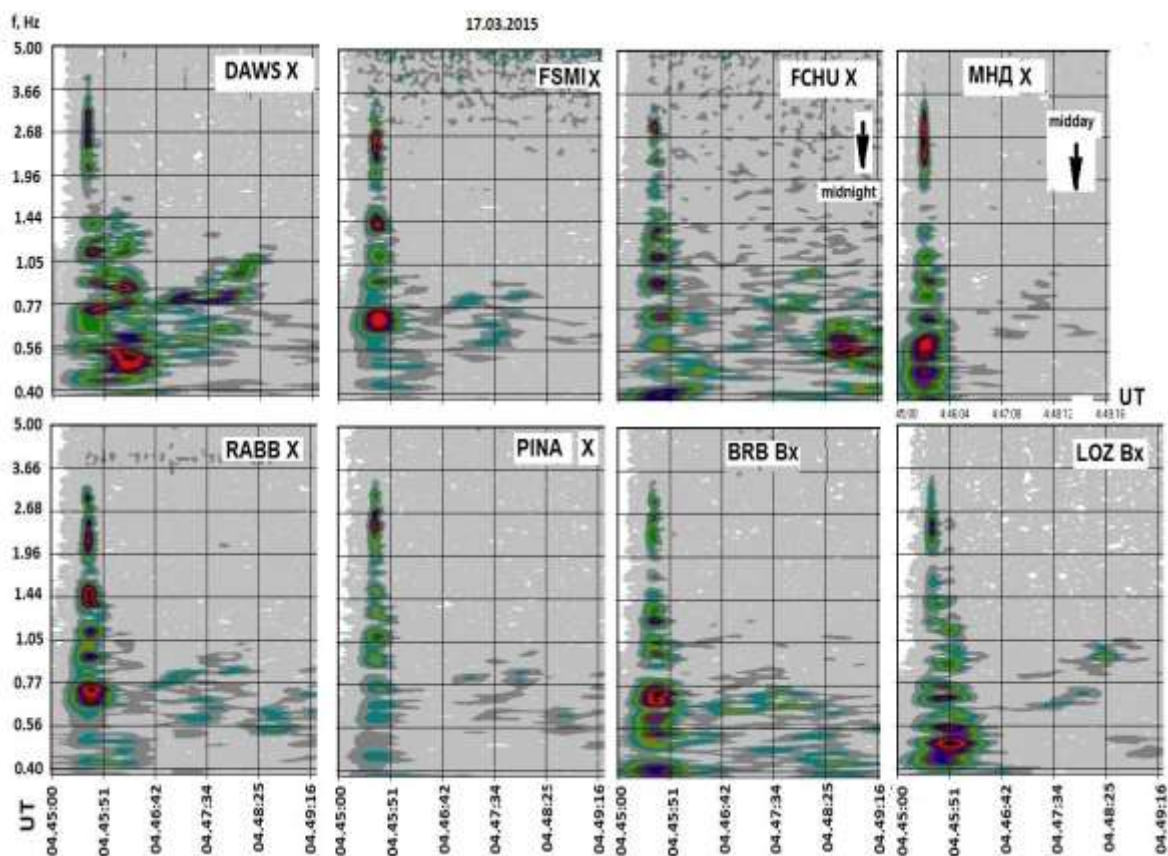


Рис. 127. Динамические спектры цуга-предвестника на сети обсерваторий

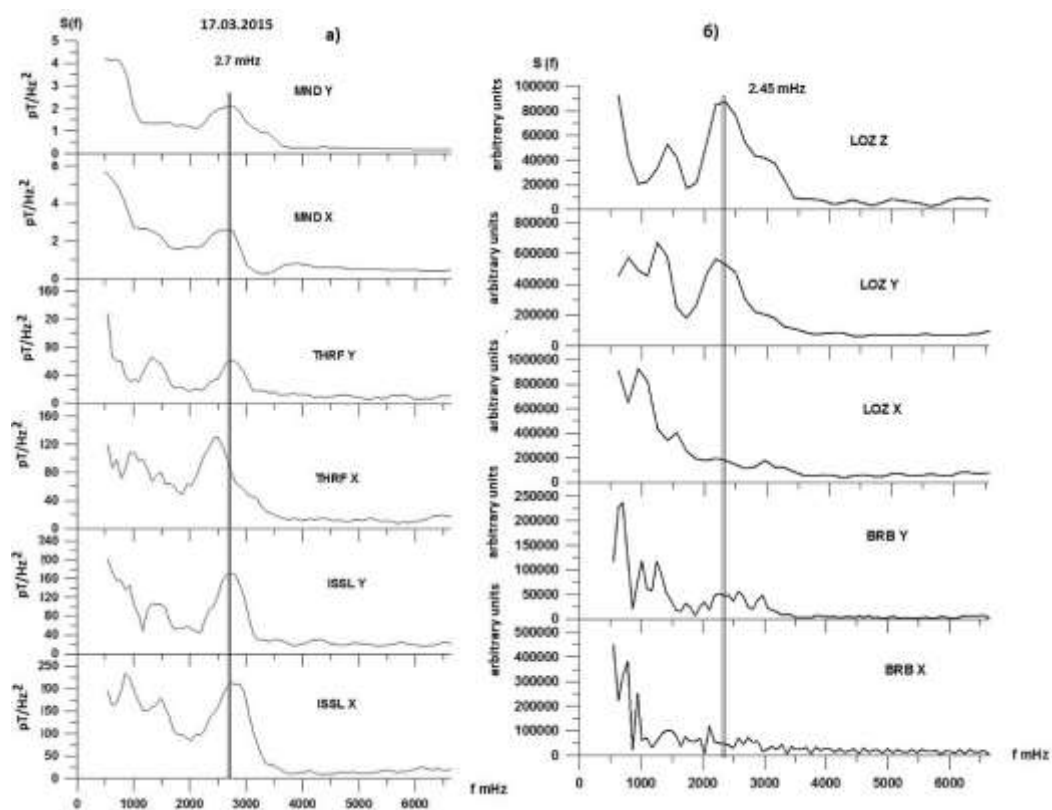


Рис. 128. Энергетические спектры цуга пульсаций в полуденной и полуночных обсерваториях (а) и обсерваториях утреннего сектора (б) Хорнсунд (HRN, MLT=05), Барроу (BRW, MLT=15) и Форт Черчилль (FCC, MLT=22)

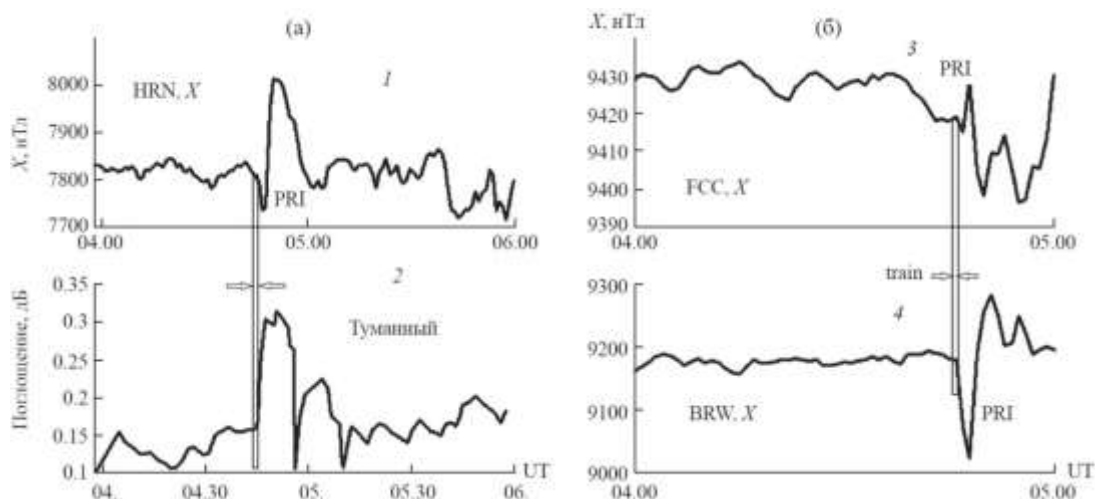


Рис. 129. Пространственно-временные соотношения между началом цугов пульсаций в утреннем (а) и вечерне-полуночном (б) секторах. Узкий прямоугольник, выделенный горизонтальными стрелками — время наблюдения цуга пульсаций

Энергетические фурье-спектры для трех обсерваторий на дневной стороне и двух на ночной стороне показаны на рис. 128. Можно отметить общие черты СРС, заметные в динамических и энергетических спектрах, но энергетические спектры существенно отличаются. Прежде всего, наблюдается совпадение спектров на среднеширотной станции Монды и обсерваториях на ночной стороне. Пик в спектре на частоте 2.7 Гц прослеживается по всем станциям и компонентам с отклонением ± 0.2 Гц (рис. 128, а). Спектральная картина в обсерваториях утренней стороны Ловозеро и Баренцбург отличается от спектров, показанных на рис. 128, а. Прежде всего, главный спектральный максимум в обсерватории Ловозеро наблюдается на частоте 2.45 Гц. В Баренцбурге отмечается смещение распределения энергии в низкие частоты с пиками на 0.5, 0.75, 1.0 и 1.25 Гц.

Видно, что всплеск пульсаций находится на фронте или даже опережает вариацию магнитного поля, соответствующую предварительному обратному импульсу (PRI). Ионосферные токи, соответствующие PRI, связаны с высыпанием энергичных (10–40 кэВ) электронов [10]. Это подтверждается данными риометра на радиофизическом полигоне Туманный (TUM) в утреннем секторе, которые показывают резкое увеличение поглощения космического радиопотока вблизи момента SSC. Момент всплеска пульсаций опережает рост риометрического поглощения, так же как и вариации магнитного поля (рис. 129).

Из рис. 126 видно, что цуг колебаний (обозначен прямоугольником) регистрируется в долготном диапазоне $\sim 250^\circ$ и диапазоне широт $\sim 22^\circ$ с запаздыванием начала цуга на утренней стороне на ~ 2 с и на ночной стороне на ~ 4 с относительно обсерватории, находящейся вблизи полуденного меридиана. Продолжительность события составляет 3.5 с. Амплитудно-временная модуляция цуга (СРС) сохраняется на больших расстояниях, но на разных обсерваториях постоянна только резонансная частота $\sim 2.67 \pm 0.38$ Гц (рис. 127, 128, а, б). Распределение энергии в спектре цугов в утреннем секторе существенно отличается от спектров в околополуденной и ночных обсерваториях.

Интересно сопоставить момент развития всплеска пульсаций с первыми магнитными признаками SSC. На рис. 129 этот момент, обозначенный прямоугольником, сопоставлен с вариациям геомагнитного поля и поглощения космического радиопотока вблизи момента SSC. Момент всплеска пульсаций опережает рост риометрического поглощения, так же как и вариации магнитного поля (рис. 129).

В рассматриваемом интервале времени на орбите находились несколько низкоорбитальных (высота ~ 800 км) спутников NOAA POES, проводящих мониторинг потоков протонов и электронов в широком диапазоне энергий. Интересно сопоставить данные спутников до и во время рассматриваемых всплесков пульсаций. Так, спутники MetOp-2 и NOAA-18 пересекли полуденный сектор в диапазоне широт $60\text{--}76^\circ$ CGMLat около 04.18–

04.25 UT и 04.20–04.27 UT соответственно, т. е. до момента SSC*. Спутник NOAA-19 пересек этот сектор в 04.43–04.49 UT, т. е. непосредственно во время SSC* и сжатия магнитосферы. Проекция орбит этих спутников на высоту 100 км показаны на рис. 130, *а*. Результаты измерения на этих спутниках потоков высыпającychся и захваченных электронов с энергиями >30 и >100 кэВ, а также протонов с энергией 100 кэВ показаны на трех нижних панелях. Потоки электронов показаны на рис. 6 *б*, *в*, а потоки протонов — на рис. 130, *г*. Все три спутника зарегистрировали резкую границу изотропных высыпаний на исправленной геомагнитной широте $73\text{--}74^\circ$. Данные спутников MetOp-2 и NOAA-18 показывают, что до SSC* к экватору от этой границы высыпаний частиц не было, за исключением узкой полосы высыпаний электронов >30 кэВ на широте $\sim 67^\circ$ и MLT ~ 11 , наблюдавшейся спутником MetOp-2. Спутник NOAA-19 непосредственно в момент SSC* зарегистрировал в области анизотропных потоков (на широтах $65\text{--}70^\circ$) мощные высыпания энергичных электронов и протонов.

На рис. 131 показана зависимость от времени потоков протонов и электронов на спутнике NOAA-19. В 04.44:49 UT (вертикальная штриховая линия 1).

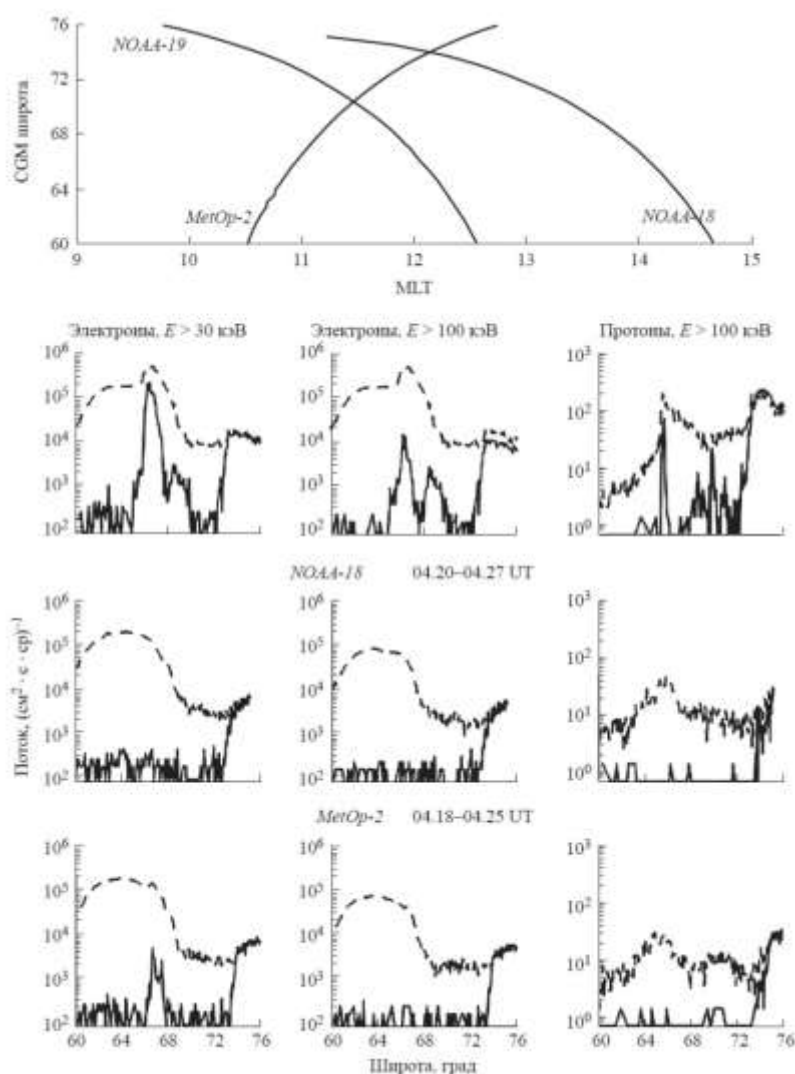


Рис. 130. Измерения потоков электронов и протонов на низкоорбитальных спутниках в дневном секторе до и во время сжатия магнитосферы. Вверху – Ионосферные проекции пролетов трех спутников POES в дневном секторе. Ниже – Потоки электронов и протонов, измеренные на трех спутниках. Пунктирная линия – поток захваченных на высоте спутника частиц, сплошная – поток высыпającychся частиц

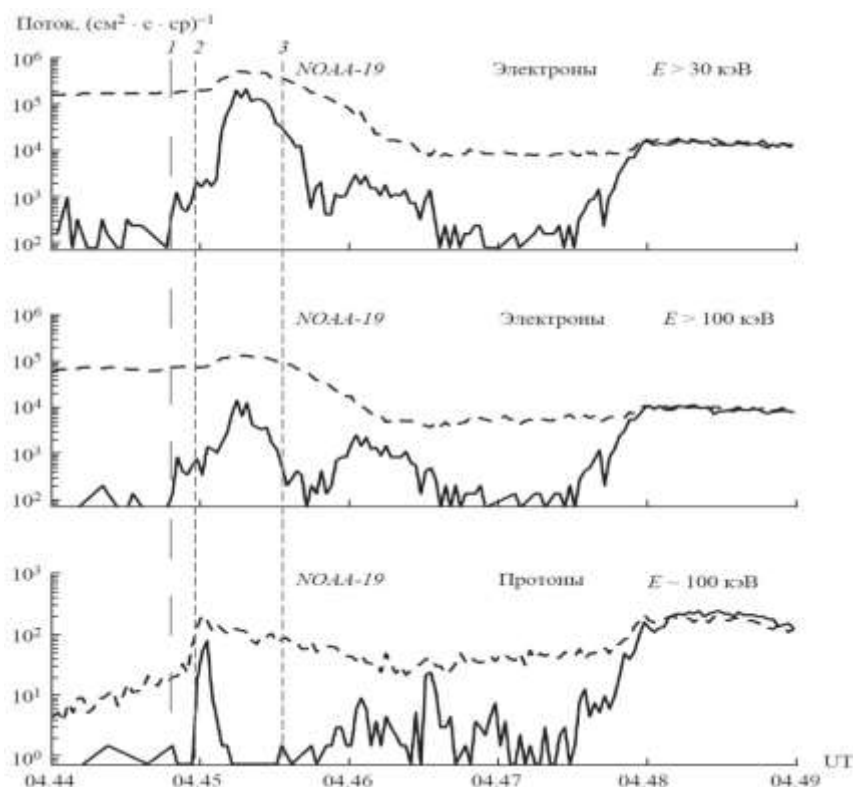


Рис. 131. Таймирование событий, связанных с SSC* 17 марта 2015 г. Вертикальная линия 1 отмечает начало высыпания энергичных электронов, линия 2 — высыпания протонов 100 кэВ, линия 3 — начало цуга пульсаций в диапазоне Pc1

В результате сжатия магнитосферы, которое произошло незадолго до 04:44:50 UT (вероятно, в интервале 04:44:08–04:44:34 UT, поскольку в это время спутники THA, THD, TNE, которые находились вблизи номинальной магнитопаузы, зарегистрировали прохождение МУВ) на дневной стороне развивается циклотронная неустойчивость протонов кольцевого тока и электронов радиационного пояса. В результате происходит высыпание электронов с запаздыванием, которое соответствует пролетному времени протона от экватора до высоты спутника и высыпание протонов с энергией 100 кэВ. Цуг ионно-циклотронных волн (см. данные станции Монды на рис. 126) достигает ионосферы позже на ~30 с, что согласуется с временем распространения альфвеновской волны. Тот факт, что измерения спутника NOAA-19 отражают временную динамику высыпаний, подтверждается данными риометра в утреннем секторе на радиофизическом полигоне Туманный, который около 04:45 UT также зарегистрировал вторжение энергичных электронов, проявившееся в кратковременном возрастании риометрического поглощения (рис. 129). Очевидно, что синхронность высыпаний электронов в разных секторах MLT является следствием сжатия магнитосферы.

В статьях [1, 2] в качестве одной из гипотез о природе возникновения цуга колебаний предполагалась возможная связь с осцилляторной структурой межпланетной ударной волны. Результаты наблюдений (рис. 132, б–г) с высоким временным разрешением всех компонент межпланетного магнитного поля на спутнике Cluster-2 и потока солнечного ветра на спутнике СПЕКТР-Р (рис. 132, а) позволяют проверить эту гипотезу. Наличие осцилляторной структуры перед фронтом МУВ определяется в виде нарастающих по амплитуде к фронту волны колебаний (прямоугольник на рисунке), наблюдающихся в ММП в виде 3.5-секундных осцилляций компонент магнитного поля и колебаний в потоке плазмы СВ с периодом около 1.5 с. Однако в переходной области на трех спутниках THA, THD и TNE регистрируется резкий скачок магнитного поля, связанный с прохождением фронта МУВ, без предварительной раскачки (опережающей

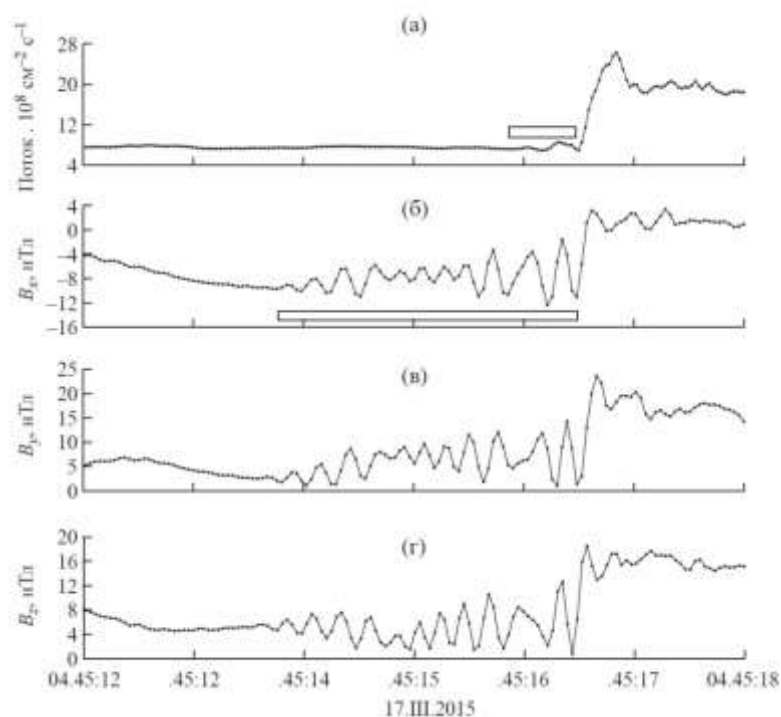


Рис. 132. Регистрация с большим разрешением параметров солнечного ветра и ММП перед фронтом МУВ на спутниках Спектр-Р и Cluster

структуры). Вероятно, колебания, наблюдаемые перед фронтом МУВ, поглощаются во фронте околосветной ударной волны. На основании приведенных наблюдений гипотеза о связи цуга колебаний внутри магнитосферы с колебаниями ММП и концентрации СВ перед фронтом МУВ (осцилляторной структурой МУВ) может быть отклонена.

Особенности генерации геомагнитных пульсаций во время внезапных начал магнитных бурь рассматривались в многочисленных статьях и монографиях. Однозначно установлено, что контакт МУВ с магнитосферой приводит к генерации в широком диапазоне частот МГД-волн, которые наблюдаются на Земле в виде геомагнитных пульсаций всех известных классов от Pc1 до Pc5 [11–13]. Однако ни в монографии [12], ни в фундаментальном обзоре [13] мы не встретили упоминаний о наблюдении подобных импульсных всплесков. В обзоре [11] отмечается, что иногда пульсации, индуцированные SI, имеют форму широкополосных короткоживущих всплесков, при этом приводится иллюстрация всплеска ULF-шума, связанного с внезапным началом, в частотном диапазоне 0.6–1.2 Гц.

Поскольку PRI однозначно связан с высыпаниями заряженных частиц вследствие сжатия магнитосферы, а цуг колебаний регистрируется в начальные секунды PRI, вероятной причиной генерации цуга колебаний можно считать явления, связанные с развитием плазменных неустойчивостей на внешних L-оболочках, приводящим к высыпанию частиц. Как показали модельные расчеты, магнитопауза сместилась на $\sim 2.4R_E$. Это смещение привело к росту анизотропии частиц радиационного пояса и вызвало рост инкремента циклотронной неустойчивости протонов и электронов. В результате неустойчивости протоны (электроны) рассеиваются в конус потерь. Подтверждением этого являются данные спутника NOAA-19, приведенные на рис. 131, где около 04:45 UT виден резкий всплеск потока высыпающихся протонов и электронов (на два порядка величины больше относительно величины потока до возмущения), и всплеск риометрического поглощения на наземной станции (рис. 129).

Спектр сигналов будет иметь резонансную структуру, если они на пути распространения к станции проходят через резонатор. В настоящее время известно несколько магнитосферно-ионосферных резонаторов. По наблюдаемым резонансным частотам в спектре описываемого цуга колебаний частоты в спектре близки к диапазону частот ионосферного альфвеновского резонатора (ИАР) 0.5–3 Гц [3, 4, 7] и надионосферного резонатора 0.15–0.3 Гц [5]. Исследования резонансных спектральных структур (СПС), связанных с ИАР в ав-

моральной зоне [6], показывают, что вероятность наблюдения СРС имеет явно выраженный суточный ход с максимумом в ночные часы. СРС вообще не наблюдаются в дневные часы в полярной шапке (по данным обсерватории Баренцбург) и на низких широтах (по данным станции на о. Крит, $L=1.3$) [14, 16]. Что касается описываемых здесь спорадических СРС, они наблюдались во все часы местного времени. Динамические спектры, приведенные на рис. 127, показывают наличие СРС для обсерваторий Ловозеро и Баренц-бург, находящихся в раннем утреннем секторе. Такая же структура спектров наблюдается в полуденные часы на обсерватории Монды и в ночные часы на обсерваториях западного полушария. Наблюдения спорадических СРС в ночные и дневные часы приведены также в работах [1, 2].

Внезапное начало магнитной бури 17.03.2015 сопровождается глобальной генерацией цуга колебаний длительностью ~ 4 с. Цуг имеет спектральную резонансную структуру (СРС), подобную на всех обсерваториях, на которых зарегистрирован импульс. Максимум в спектре на частоте 2.78 ± 0.38 Гц регистрируется глобально.

Вероятной причиной генерации цуга колебаний можно считать явления, связанные со сжатием магнитосферы и соответственно с ростом анизотропии энергичных протонов и электронов. Колебания в диапазоне Pc1 и протонные высыпания генерируются, вероятно, в результате ионно-циклотронной неустойчивости протонов кольцевого тока, а СРС может быть связана с ионосферным альфеновским резонатором.

3.9.2.2. Разработка и адаптация методов детектирования возмущений ПЭС различного типа в рамках создания системы автоматической регистрации возмущений ПЭС

Автоматическое детектирование возмущений полного электронного содержания (ПЭС) предполагает наличие алгоритмов, позволяющих выделять из массива данные, соответствующие заданным формальным определениям возмущения.

3.9.2.2.1. Методика выделения отклика на солнечные вспышки

Солнечные вспышки можно рассматривать как источник возмущений, одновременно охватывающих наибольшую территорию — всю освещенную область Земли. Ряд работ [16, 17] показывает возможность регистрации ионосферных эффектов в данных ГНСС даже слабых вспышек методом когерентного накопления измерений станций на освещенной стороне и соотношения их с накопленными данными теневой стороны. Зная положение солнечного терминатора и внося поправку на зенитный угол Солнца для каждой станции, можно однозначно сопоставить солнечной вспышке скачок значений ПЭС. Выполнение указанных операций возможно в автоматическом режиме с заданным шагом по времени (типичный шаг 30 с).

3.9.2.2.2. Метод выделения областей повышенного ПЭС

Глобальные ионосферные карты (GIM) являются удобным инструментом анализа общей динамики ионосферы в масштабах земного шара. Несмотря на используемые при их расчетах алгоритмы интерполяции, они несут много информации о локальных возмущениях ионосферы. Во время отдельных магнитных бурь можно наблюдать появление локализованных областей повышения ПЭС, связанных с процессами в магнитосфере.

Локальное повышение ПЭС (ЛПП) является выраженным отклонением величины от типичных значений. Таким образом, метод автоматического выделения ЛПП сводится к алгоритму нахождения типичных величин ПЭС, вычислению отклонений значений заданной карты от типичных и оценки полученных разностей (рис. 133). Экваториальная область является наиболее динамичной и, следовательно, содержит большее число неоднородностей в распределении ПЭС. Кроме того, ЛПП, наблюдаемые в средних широтах, представляют больший интерес, чем для приэкваториальных областей. Поэтому при анализе карт область магнитного экватора шириной порядка 60° исключается из рассмотрения (рис. 133, $\delta-e$).

Эффективность метода меняется при использовании различных способов нахождения типичных значений. На рис. 134 показана зависимость от времени числа ЛПП N , зарегистрированных в 2002–2016 гг. с применением алгоритма усреднения ($MEAN$, зеленый) и нахождения медианы ($MEDIAN$, синий) с числом ложных срабатываний каждого алгоритма (светло-зеленый и голубой соответственно). Число ложных срабатываний $MEAN$ составляет в среднем 11 %, $MEDIAN$ — 3.5 % [16, 17]. Линией на рис. 134 показано отношение N_{MEAN}/N_{MEDIAN} . Видно, что медианный алгоритм определяет в среднем в 3–5 раз больше ЛПП, чем основанный на определении среднего.

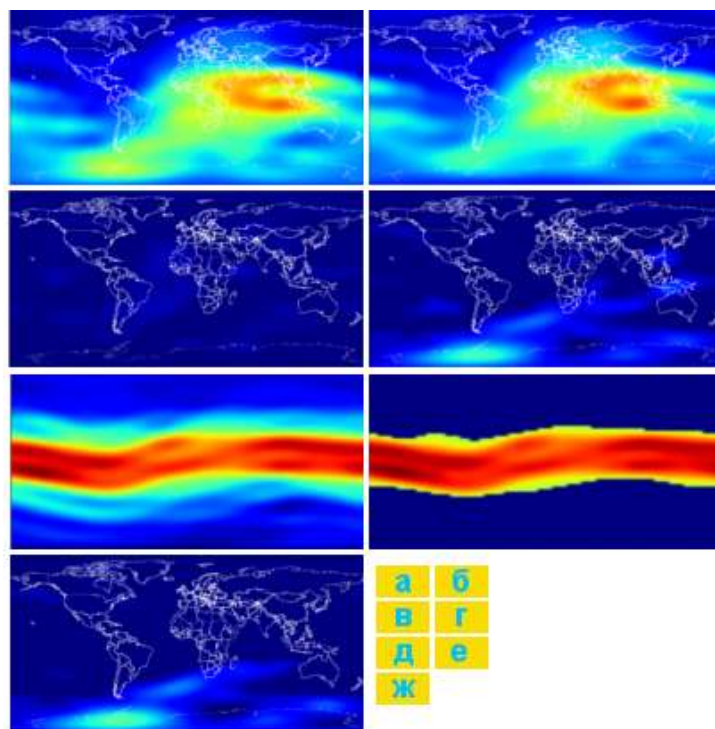


Рис. 133. Этапы работы алгоритма детектирования ЛПП на карте: *а* — исходная карта; *б* — карта типичных значений ПЭС в заданном окне дней; *в* — отклонение текущих значений от типичных; *г* — отклонение разности от типичных разностей в заданном окне; *д* — положение экваториальной аномалии в течение суток; *е* — область экваториальной аномалии с отсечкой по порогу; *ж* — итоговая карта после вычитания экваториальной области

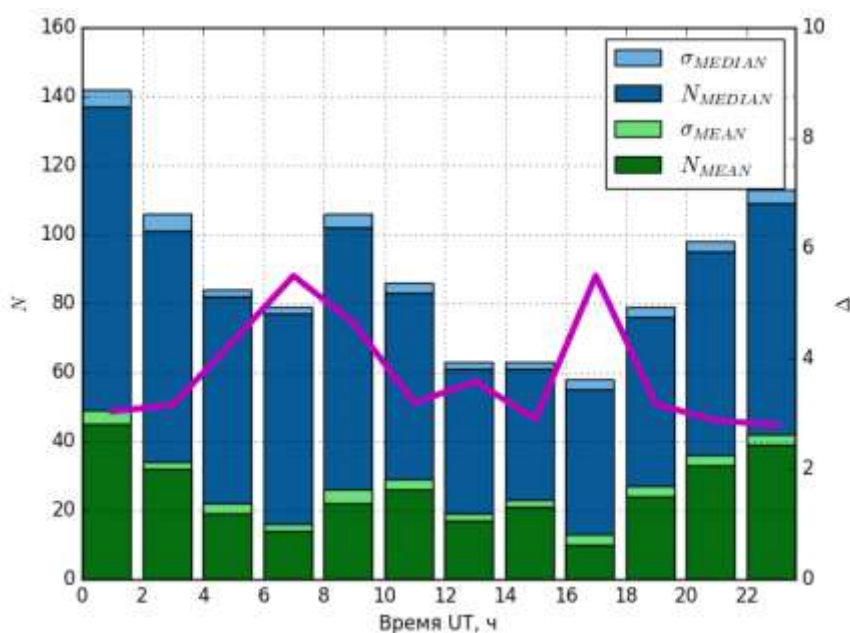


Рис. 134. Число ЛПП по $MEDIAN$ (синий) и $MEAN$ (зеленый)

3.9.2.2.3. Методика детектирования волновых возмущений

Большая часть возмущений параметров ионосферы имеет колебательный характер, точнее, носит форму волновых пакетов (постепенного нарастающего и затухающего затем колебания). Для обнаружения возмущений такого типа хорошо подходит методика, представленная в [18]. Изначально метод направлен на выделение волновых пакетов среднего масштаба в вариациях ПЭС, однако может быть расширен как на другие диапазоны периодов колебания ПЭС, так и на вариации других параметров ионосферы.

В основе метода лежит анализ спектра вариаций и оценка соотношения спектральной плотности в заданной полосе частот и плотности остальной части спектра. Если такое отношение превышает заданную величину, можно говорить о наличии в вариациях узкополосных колебаний. Для снижения объема обрабатываемых данных (в случаях работы с данными ГНСС-измерений на плотных сетях он может быть существенным) вводится условие порогового отсека — в рассмотрение не принимаются значения ниже заданного уровня (для вариаций ПЭС порог обычно составляет 0.05 TECU). Также для более четкого выделения возмущений исходные данные предварительно фильтруют в заданном диапазоне частот.

Сильная сторона данной методики состоит в возможности автоматического выделения регионов с повышенным уровнем волновых, в определенном смысле регулярных, возмущений. Динамика появления и перемещений таких областей можно рассматривать как хороший индикатор воздействия возмущающих факторов в заданной области, сужающий область поиска. Дальнейший анализ возмущений и определение их параметров может проводиться в очерченных пределах с привлечением других методик.

Описанный метод выделения волновых пакетов был использован при анализе ионосферных эффектов совокупного воздействия тропических циклонов и солнечного терминатора, результаты которой были представлены на XV Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса» и будут опубликованы в ее трудах.

3.9.2.2.4. Индекс W_{tec} как индикатор возмущения ионосферы

В работе [19] авторы предложили индекс W_{tec} для определения среднего уровня возмущенности ионосферы по данным ГНСС-измерений. Данный индекс рассчитывается для каждой ГНСС-станции и показывает среднюю амплитуду вариаций ПЭС на всех лучах спутник—приемник в каждый момент времени. Расчет данного индекса не составляет труда, а мониторинг превышения его значений заданного порога позволит детектировать области повышенной возмущенности ПЭС с целью дальнейшего анализа характера неоднородностей и определения их параметров.

3.9.2.2.5. Развертывание станции приема сигналов низкоорбитальных спутников на полигоне ИСЗФ СО РАН в с. Торы, настройка удаленного доступа к станции и организация непрерывных наблюдений на ней

Комплекс приема сигналов низкоорбитальных спутников включает приемник AS CSR123 и управляющий ПК. На текущий момент выполнены тестовые работы по удаленному доступу к ПК, запуску и остановке приемника, его наладке и настройке при непосредственном участии производителя. Приемный комплекс подготовлен к отправке на измерительный полигон в с. Торы и будет развернут в ноябре–декабре 2017 г.

3.9.2.3. Методика расчета координат кажущегося источника кольцевых возмущений по данным карт вариаций полного электронного содержания

Предложен вариант методики, позволяющей по данным карт отфильтрованных вариаций полного электронного содержания (ПЭС) рассчитать координаты точечного источника кольцевых возмущений. Методика основана на минимизации суммарной абсолютной разницы значений вариаций ПЭС между соседними отсчетами, отсортированными по мере увеличения расстояния от выбранного центра. В настоящий момент методика позволяет в каждый момент времени регистрации квазикольцевого возмущения рассчитывать его кажущиеся координаты.

На рис. 135 показан пример работы методики для одного момента времени регистрации квазикольцевого среднемасштабного возмущения, наблюдавшегося во время землетрясения Tohoku 11 марта 2011 г. Представлена карта вариаций ПЭС (диапазон периодов 4–20 мин) для одного отсчета времени и для спутника GPSPRN-18 по данным японской сети приемников GPS/ГЛОНАСС. Крестиком обозначено положение рассчитанного по данной карте положения точечного источника возмущения.

На рис. 136 показано изменение рассчитанных координат кажущегося точечного источника по картам вариаций ПЭС для спутников PRN-09 и PRN-18 за время 25 мин. Видно, что разброс рассчитанных координат по картам для разных спутников может существенно различаться. Вероятнее всего, особенности такого разброса определяются взаимным положением приемных станций GPS/ГЛОНАСС, навигационных спутников и параметрами возмущений.

Планируется тестирование и усовершенствование предложенной методики с привлечением моделирования возмущений ПЭС.

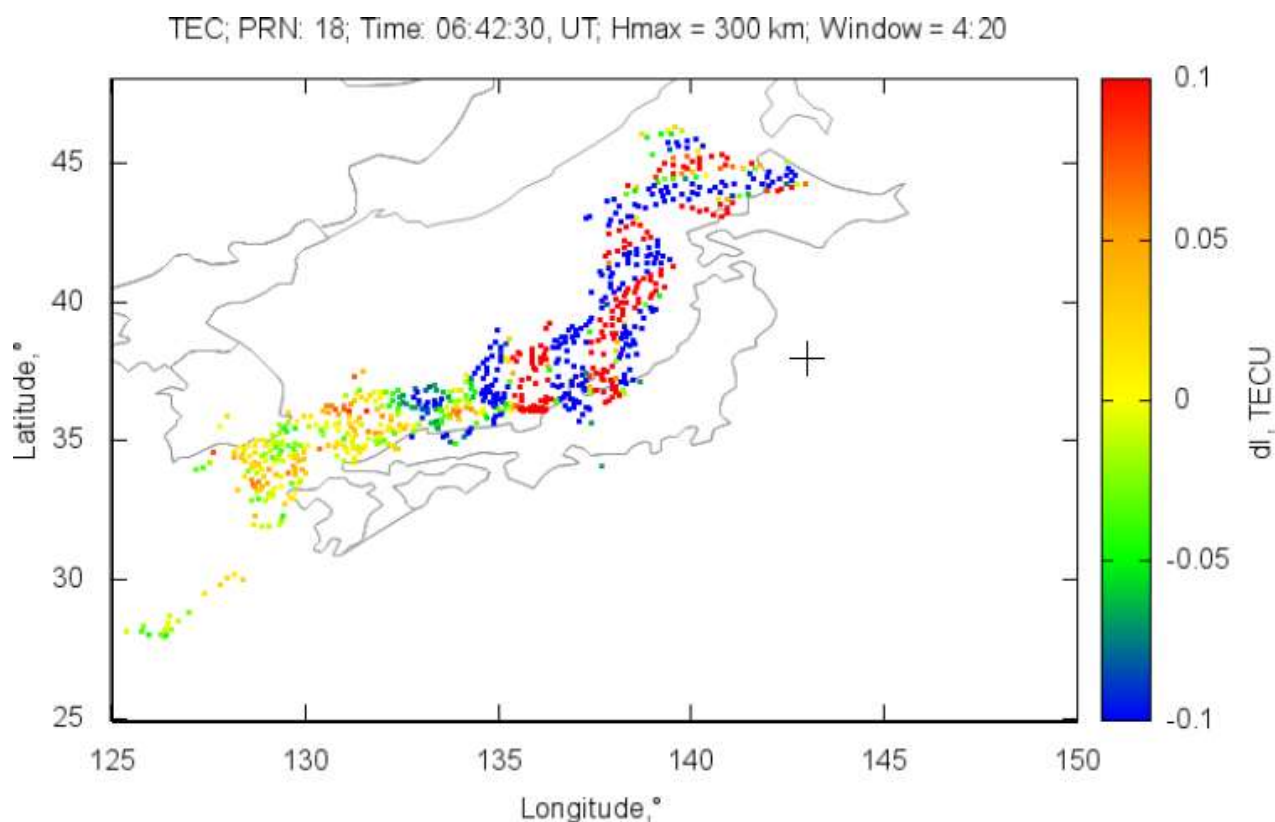


Рис. 135. Карта вариаций ПЭС. Крестиком показано рассчитанное положение точечного источника наблюдающегося квазикольцевого возмущения

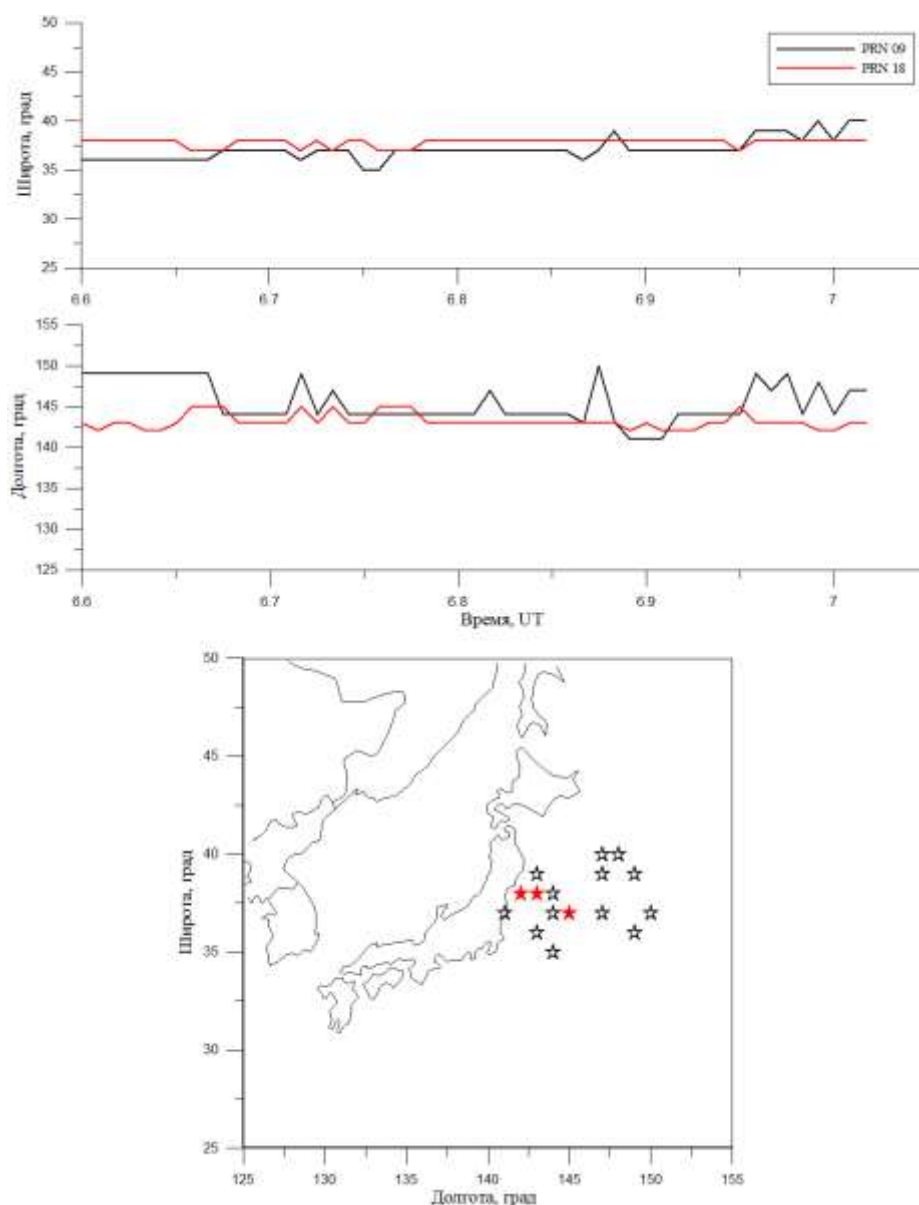


Рис. 136. Изменение координат точечного источника, рассчитанного по картам вариаций ПЭС для спутников PRN-18 (красные звездочки) и PRN-09 (черные звездочки)

3.9.2.4. Исследования характеристик и структуры инфразвуковых сигналов различной природы

3.9.2.4.1. Сравнительный анализ инфразвуковых сигналов при импульсных событиях и землетрясениях

В данном разделе обсуждается изучение структуры инфразвукового поля в атмосфере, природой которого являются источники естественного происхождения. К этому типу относятся, например, инфразвуковые сигналы, связанные развитием активной фазы землетрясений, когда движения земной поверхности возбуждают акустический эффект. Примером может служить сильнейшее землетрясение 1964 г. на Аляске, когда на калифорнийских инфразвуковых станциях был отмечен низкочастотный акустический сигнал с необычайно большим периодом около 14 мин, отобразившийся в виде ионосферного отклика. А сам акустический сигнал формируется за счет передачи импульса от сейсмических движений земной поверхности с фазовой скоростью, превышающей скорость звука в атмосфере.

Сюда можно также отнести акустические эффекты сильных метеорных событий, например Челябинского метеороида 2013 г. Природа акустического сигнала, по нашему мнению, главным образом, связана с фрагментацией тела метеороида при сверхзвуковом движении в атмосфере Земли. Мощная ударная волна, образованная при вхождении метеороида в атмосферу и при дальнейшем взаимодействии с поверхностью Земли, возбуждает сильную поверхностную сейсмическую волну. Таким образом, акустическое поле в атмосфере и сейсмическое в земной коре являются симметричными относительно границы атмосфера — земная поверхность для источников различной природы, отличающихся по механизмам возбуждения. Для этого и был выполнен сравнительный анализ генерации инфразвуковых и сейсмических сигналов при событиях импульсного типа (взрыв Челябинского метеороида) и землетрясениях.

Используются данные регистрации акустических и сейсмических сигналов от импульсных источников (акустический удар от Челябинского метеороида 2013 г. и землетрясения 5.12.2014 г. на оз. Хубсугул (Монголия) с энергетическим классом $K=13.9$). Полагается, что в случае импульсного источника в атмосфере акустический удар возбуждает сильную поверхностную сейсмическую волну, параметры которой связаны с характеристикой верхнего слоя разреза земной коры. В случае землетрясения акустический сигнал в атмосфере возбуждается сейсмической волной, также проходящей через верхний слой разреза земной коры.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) верхнего слоя разреза земной среды для проходящей акустической волны как в случае Челябинского метеороида, так и для сейсмической волны от землетрясения 5.12.2014 г. оценивается с помощью метода спектральных отношений горизонтальных и вертикальных компонент микросейсмического шума, предложенного Накамуры в 1989 г. АЧХ среды является той непосредственной характеристикой, которая указывает на характеристические частоты, на которых возможен сейсмический или акустический отклик на импульсный сигнал. Отношение спектров инфразвукового и сейсмического реальных сигналов (рис. 137, а) сопоставлялось со спектральным отношением горизонтальных и вертикальной компонент полученных на станции Арти (Урал, рис. 137, б) записей микросейсмических колебаний (отношение H/V). Отношение H/V является непосредственной характеристикой среды и показывает, в каких частотных диапазонах будет наблюдаться усиление колебаний сейсмических волн. Анализ полученной кривой H/V выявил набор характеристических частот: 0.11–0.45 Гц (периоды 2.2–9.1 с), 2.00 Гц (0.5 с) и 3.00 Гц (~0.3 с). Характеристические частоты 0.11–0.45 Гц хорошо согласуются с частотами, восстановленными из отношения спектров инфразвукового и сейсмического сигналов.

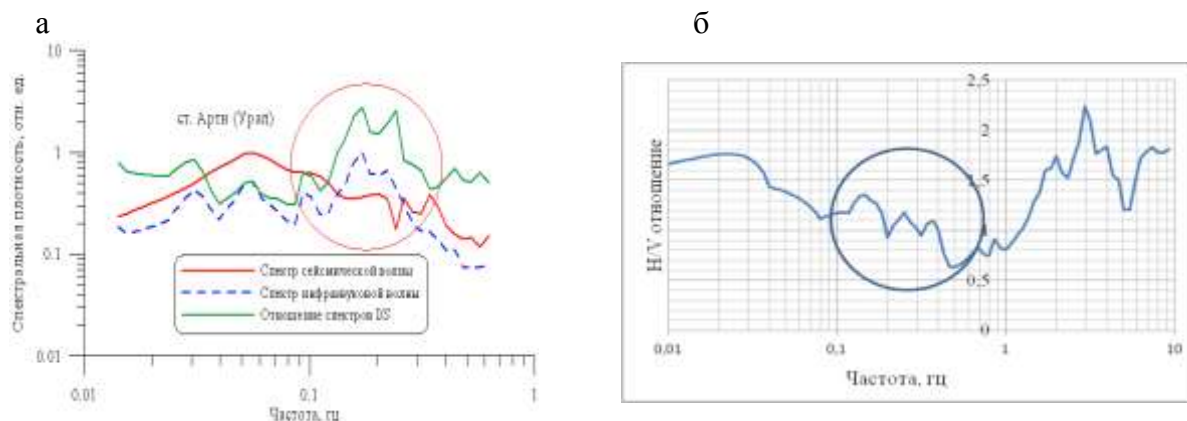


Рис. 137. Спектры инфразвукового и сейсмического сигналов Челябинского метеорита, полученные на сейсмической станции Арти (Урал), их отношение (а) и кривая отношения спектральных плотностей компонент микросейсмического шума H/V (б)

В работе дается вывод, что в случае акустического удара от взрыва Челябинского метеороида частоты сейсмического сигнала хорошо согласуются с локальными характеристическими частотами спектрального отношения компонент микросейсмического шума, определенными независимо. Однако в случае землетрясения 5 декабря 2014 г. характеристические частоты микросейсмического шума не согласуются с частотами спектра акустического сигнала. Причина, скорее всего, состоит в том, что в случае землетрясения имеет место значительно больший масштаб источника и соответственно иной механизм генерации акустического сигнала, когда АЧХ среды (верхний разрез земной коры) практически не играет никакой роли [20].

3.9.2.4.2. Регистрация эффектов нештатной ситуации на космическом корабле «Прогресс-МС04» в декабре 2016 г.

В данной работе представлены результаты регистрации инфразвуковых сигналов, связанные с запуском и нештатной ситуацией над Тувой грузового космического корабля «Прогресс-МС04», с которым произошла авария. Обсуждается структура сигналов, их временная диаграмма и отличие при полете в штатном режиме. Отождествлена последовательность инфразвуковых сигналов, генерируемым кораблем «Прогресс-МС04» на различных стадиях вывода на орбиту. На рис. 138 схематично в виде временной диаграммы показано появление на станции инфразвуковых сигналов от двух успешных советских запусков «Энергия»—«Буран» 15 ноября 1988 г. и «Союз-ТМ7» 26 ноября 1988 г. (вверху) и от запуска «Прогресс-МС04» с помощью ракетоносителя «Союз-У» в декабре 2016 г., завершившегося аварией.

Вертикальные линии слева обозначают моменты старта космических кораблей. Видно, что инфразвуковые сигналы, приходящие на станцию подразделяются по времени прихода на две явные группы: с ранним и поздним приходом. Понятно, что сигналы раннего прихода отождествляются с процессами излучения при выводе ракеты на орбиту. Вторая группа с более поздним приходом относится к сигналам, распространяющимся с обычной звуковой скоростью с места старта. Таким образом, особенностями нештатного полета являются следующие.

1. Ракетоноситель не долетает непосредственно до инфразвуковой станции, и поэтому отсутствуют соответствующие «гиперзвуковые» сигналы.

2. В общей структуре инфразвуковых сигналов появляется дополнительный сигнал, связанный с разрушением ракетоносителя в результате баллистического спуска в атмосфере со скоростью около 5 км/с. Так, в нештатной ситуации 1 декабря 2016 г. над Республикой Тува количество быстрых инфразвуковых сигналов на станции составило 4 (рис. 138).

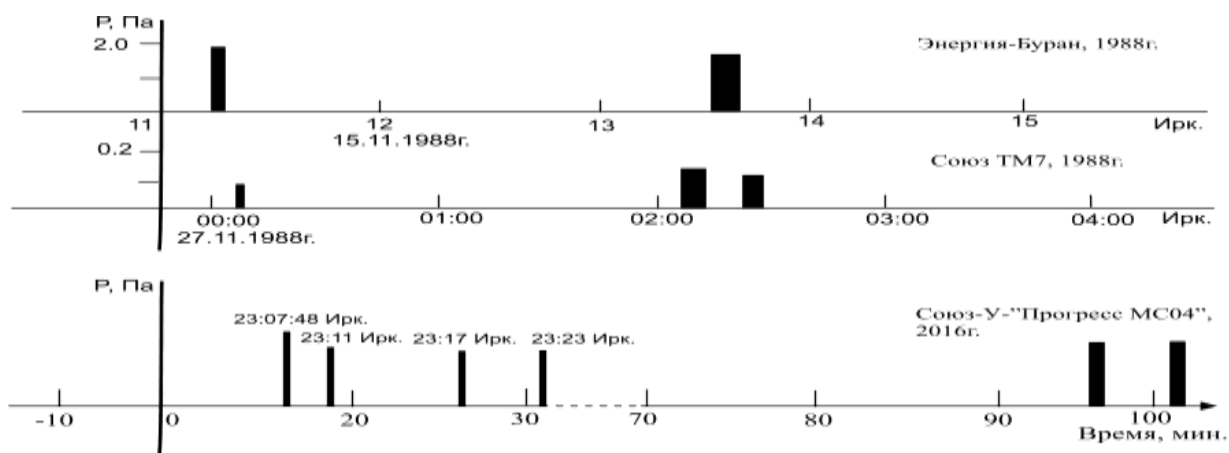


Рис. 138. Временные диаграммы запусков советских ракет (вверху) и космического корабля «Прогресс-МС04» (внизу)

Основными результатами работы являются следующие.

1. Выделены инфразвуковые сигналы, связанные с основными стадиями полета и непосредственно с нештатной ситуацией, и их описание.
2. Динамический спектр сигнала в нештатной ситуации указывает на вхождение в атмосферу, по крайней мере, двух фрагментов [21].

3.9.2.4.3. Микропроцессорная технология и расширение возможностей регистрации инфразвуковых сигналов

Новые технологические решения в области микроэлектроники успешно внедряются. Это обусловлено наличием ряда положительных свойств: малые габариты, высокопроизводительный процессор, низкое энергопотребление, универсальность — широкий набор функций и подключаемых библиотек, встроенные 12-разрядные аналого-цифровые преобразователи (АЦП), обеспечивающие качественную регистрацию аналоговых сигналов, поддержка высокоуровневых языков программирования (например, C/C++). В данной работе нашел свое применение микроконтроллер STM32F103 (точнее, модуль на его основе TE-STM32F103). Из анализа возможностей платы микроконтроллера STM32F103 было принято решение о регистрации сигнала по однополярной схеме. Далее была разработана программа для микроконтроллера на языке Си со следующим алгоритмом действий.

- Монтирование (регистрация и получение данных о файловой системе) карты памяти для записи показаний АЦП;
- Инициализация (настройка с предварительной подачей на шину с устройством тактирующих импульсов) АЦП и другой периферии контроллера, необходимость в которой возникает на определенных этапах создания итоговой программы;
- Создание и открытие текстового файла, в который будет осуществляться последовательная запись показаний АЦП;
- По окончании измерений — закрытие файла, демонтирование карты памяти и завершение программы. Дополнительно создается небольшой файл типа script в ПО Matlab, в котором производится:
 - Открытие текстового файла с данными посредством функции языка Matlab fopen;
 - Сохранение содержимого данного файла в переменную типа «строка» функцией fscanff для упрощения последующей обработки записанных данных;
 - Разбиение переменной типа «строка» на отдельные целочисленные элементы;
 - Построение двумерного графика функцией plot результатов регистрации.

Ниже показаны результаты синхронной записи атмосферного фонового шума в инфразвуковом диапазоне на инфразвуковой станции Геофизической обсерватории ИСЗФ (с. Торы) на базовом оборудовании (АЦП фирмы Руднев—Шуляев ЛА 1,5 РСІ, рис. 139) и с использованием микроконтроллера STM32F103 (рис. 140). Фрагменты одновременной записи выделены цветной рамкой и показывают идентичность записей разными методами [22].

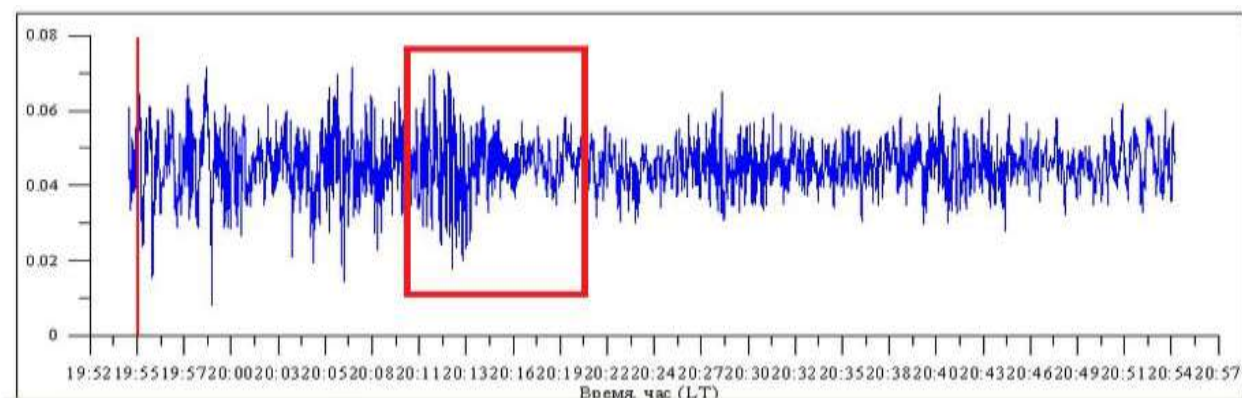


Рис. 139. Фрагмент синхронной записи атмосферного фона (выделение)

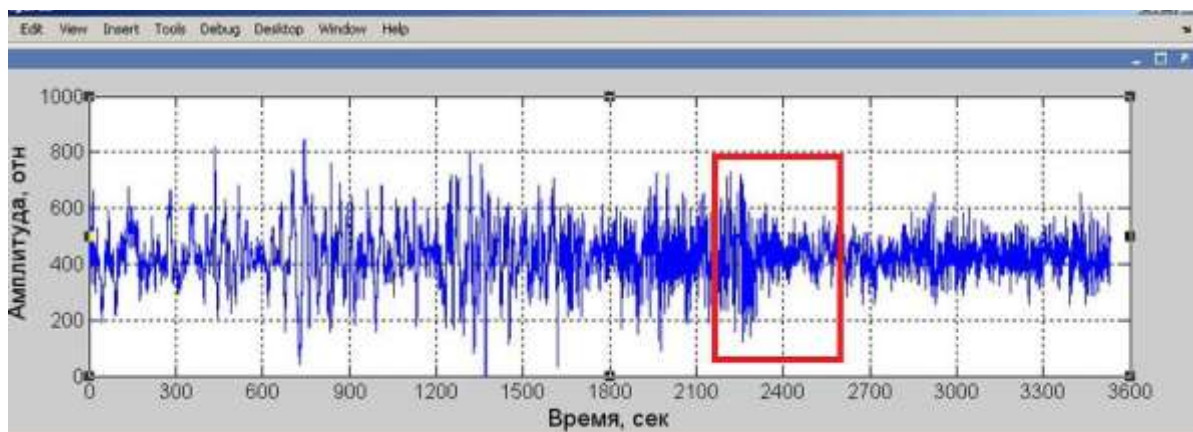


Рис. 140. Фрагмент синхронной записи атмосферного фона (выделение) на новом оборудовании STM32

3.9.2.5. Исследования вариаций параметров верхней атмосферы Земли на высотах мезосферы – нижней термосферы в средних широтах

Продолжалось изучение процессов генерации и распространения ионосферных возмущений разных масштабов. Данные возмущения могут оказывать существенное влияние на работу средств радиосвязи и спутниковой навигации. Считается, что основными источниками внутренних гравитационных волн (ВГВ) являются как процессы в авроральной ионосфере, так и динамические процессы в нижней атмосфере, однако относительный вклад каждого из этих механизмов не до конца ясен. Основной трудностью является отсутствие необходимого количества эмпирических данных [23]. Зависимость уровня авроральной активности, а, следовательно, и интенсивности генерации крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (КМ ПИВ) от мирового времени определяет то, что наиболее благоприятные условия наблюдения КМ ПИВ создаются в австрало-азиатском долготном секторе, на ночные часы которого падает максимум авроральной активности [24]. В ряде работ показано, что распространение КМ ПИВ носит глобальный характер. В работе [25] на основе анализа большого объема данных вертикального зондирования ионосферы построена планетарная эмпирическая модель реакции критической частоты и высоты ночной области $h_m F2$ на прохождение КМ акустико-гравитационных волн, генерированных магнитосферными суббурями. В работе [26] отмечено, что зависимость возникновения авроральных геомагнитных возмущений от мирового времени играет важную роль в формировании UT- и LT-зависимости появления КМ ПИВ, наблюдаемых на средних широтах. При этом среднее значение периодов, горизонтальных скоростей и азимутов составляет 1.8 ч, 300 м/с и 187° соответственно. Частота возникновения КМ ПИВ увеличивается с увеличением значения K_p [26, 27]. Средняя горизонтальная скорость, период, длина волны и направление распространения всех КМ ПИВ составляли 475 ± 171 м/с, 80 ± 29 мин, 2113 ± 863 км и $3-19^\circ$ на юго-восток соответственно [26, 27]. В работе [28] средняя горизонтальная фазовая скорость КМ ПИВ составляла 422 ± 36 м/с в Северной Америке, 381 ± 69 м/с в Европе и 527 ± 21 м/с в Восточной Азии соответственно. В азиатском долготном секторе (юг Восточной Сибири) проводились работы по анализу частоты и условий наблюдения среднеширотных сияний [29, 30, 31, 32], а также возмущений интенсивности атмосферных эмиссий с периодами 5–180 мин. Анализ возмущений проводился на основе данных четырехканального фотометра без системы сканирования по пространству, что не позволяло выделить распространяющиеся волновые возмущения и получить данные о направлении скорости распространения возмущений.

Был проведен анализ вариаций интенсивности атмосферных эмиссий на основе данных, полученных в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН, Республика Бурятия, Тункинский район, с. Торы (52° N, 103° E) [40].

Данные наблюдений приборов САТИ-1М и ФИЛИН-1Ц используются для анализа волновых возмущений на высотах мезосферы в моменты регистрации КМ ПИВ в эмиссии 630 нм системой КЕО Sentinel, предположительно, на высотах нижней термосферы.

Рассматривались временные интервалы во время высокой геомагнитной активности ($K_p \geq 6$), за сутки до и сутки после за 2015–2016 гг. Для анализа выбирались данные, полученные в ясные безлунные ночи. Общее количество ночей, выбранных для анализа, составляло 19 (~170 ч). Были рассчитаны вариации интенсивности излучения эмиссии 630 нм в разных областях кадра. Далее был проведен расчет кросскорреляционной функции между вариациями интенсивности в области зенита и в других частях кадра (рис. 141).

На рис. 142 представлены вариации интенсивности эмиссии 630 нм по данным Кео Sentinel 27 октября 2016 г. и кросскорреляционная функция между вариациями интенсивности в области зенита и вариациями в остальных выбранных областях кадра (см. рис. 3.9.17). Полночь по местному времени приходилась на 16:00 UT. По данным, представленным на рисунке 3.9.18, видно, что возмущение сначала регистрируется на севере, затем, с задержкой 8 мин на востоке, далее с задержкой 11 мин на западе, и, в последнюю очередь, на юге с задержкой 18 мин. Средние горизонтальные скорости перемещающихся возмущений, рассчитанные по лагам кросскорреляционной функции, составили ~500 м/с, направление распространения возмущений с севера на юг. Перемещающиеся возмущения с подобными характеристиками зарегистрированы также 07 октября 2015 г.

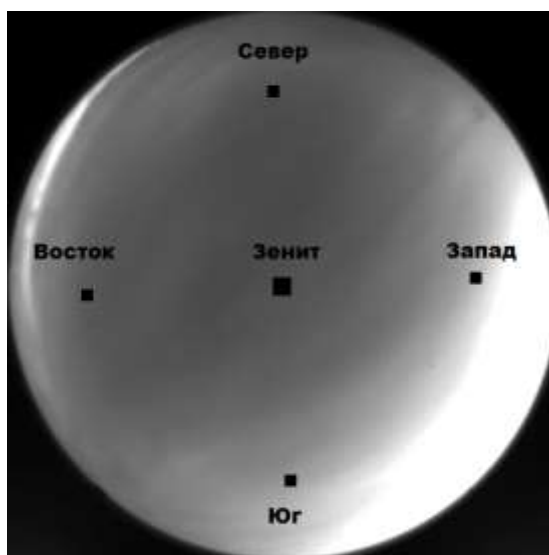


Рис. 141. Области кадра, выбранные для расчета интенсивности эмиссии 630 нм по данным оптической системы Keo Sentinel

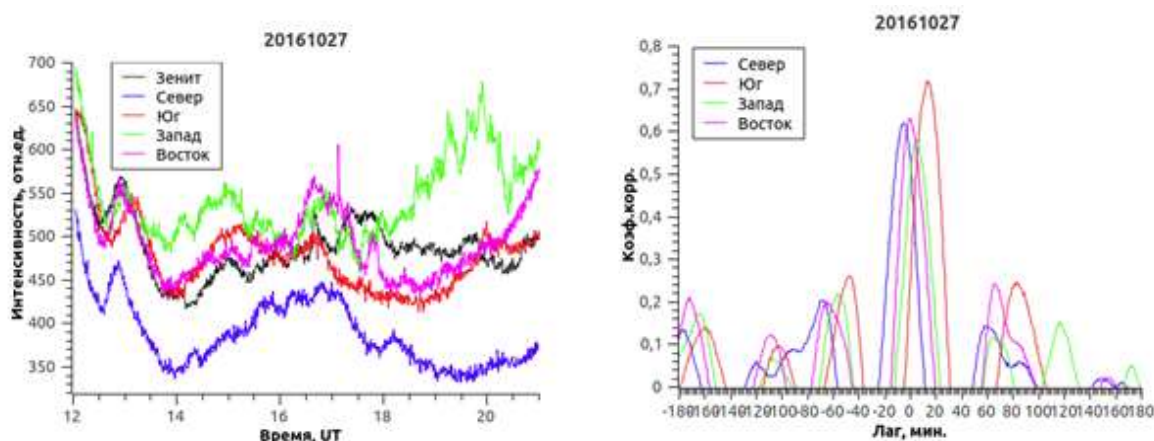


Рис. 142. Интенсивности излучения эмиссии 630 нм в разных областях кадра 27.10.2016 в ГФО ИСЗФ СО РАН (слева); справа — кросскорреляционные функции между вариациями интенсивности эмиссии 630 нм в области зенита и вариациями в других областях кадра (см. рис. 141)

На рис. 143 приведены кадры, полученные с помощью Keo Sentinel 27.10.2016 в 12:41–13:02 UT [34, 35]. Для выделения ПИВ использован метод временного дифференцирования [33].

За анализируемый период времени было выявлено два случая наблюдения КМ ПИВ со скоростями ~ 500 м/с и направлением перемещения с севера на юг. Характеристики зарегистрированных возмущений хорошо согласуются со значениями, полученными в работах [27, 28], при этом частота наблюдения возмущений меньше, чем в работах [26, 27].

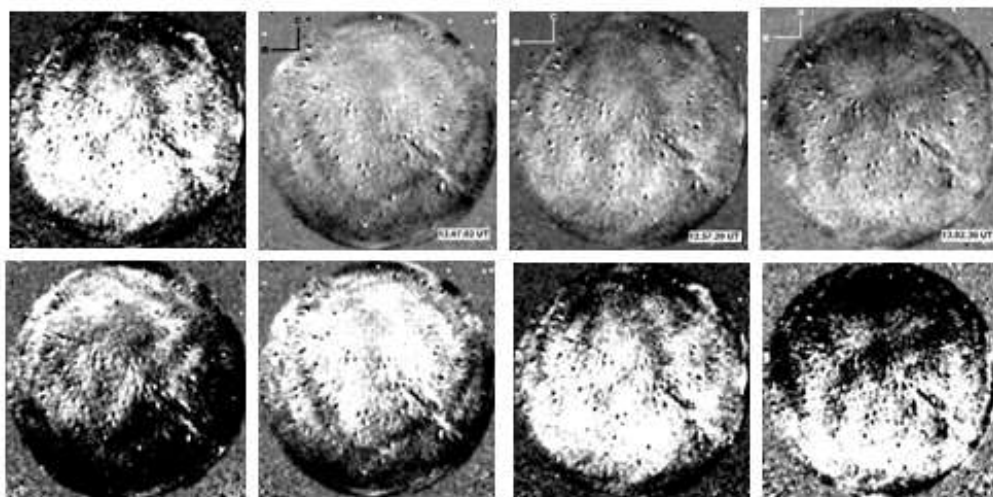


Рис. 143. Кадры, полученные 27.10.2016 г. в 12:41–13:02 UT с помощью камеры Keo Sentinel, на которых наблюдается КМ ПИВ

3.9.2.6. Изучение воздействия двигательных установок транспортно-грузовых кораблей «Прогресс» на верхние слои атмосферы и ионосферу на основе измерений вариаций полного электронного содержания, выполненных с помощью сигналов глобальных навигационных спутниковых систем

Активные космические эксперименты «Радар–Прогресс», выполнявшиеся в Институте солнечно-земной физики СО РАН в 2006–2014 гг., были направлены на изучение воздействия двигательных установок (ДУ) транспортно-грузовых кораблей (ТГК) «Прогресс» на верхние слои атмосферы и ионосферу. Включения ДУ для экспериментов проводились после отстыковки ТГК от международной космической станции (МКС) при пролете ТГК над обсерваториями Института [37–40]. В качестве средств диагностики состояния околоземного космического пространства выступал комплекс геофизических инструментов ИСЗФ СО РАН [41]. Одним из таких инструментов явился разработанный в ИСЗФ СО РАН программно-аппаратный комплекс GLOBDET [42], предназначенный для детектирования ионосферных возмущений естественного и техногенного происхождения на основе измерений вариаций полного электронного содержания (ПЭС). Измерения проводились с помощью сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Основой и источником данных комплекса GLOBDET служит сеть наземных двухчастотных приемников ГНСС. В 2006–2012 гг. для регистрации ионосферных эффектов работы ДУ ТГК «Прогресс» использовались приемники ГНСС, входящие в глобальную сеть IGS. В 2012 г. в ИСЗФ СО РАН была развернута собственная региональная сеть SibNet наземных приемных станций ГНСС [48]. Поэтому в 2013–2014 гг. привлекались данные этой сети. Настоящая работа посвящена анализу реакции ионосферы на работу сближающе-корректирующих двигателей (СКД) ТГК «Прогресс», проявляющейся в ПЭС по данным ГНСС.

Возмущения в ионосфере, вызванные работой ДУ ТГК в космических экспериментах 2006–2014 гг., исследовались на основе анализа вариаций ПЭС. Данные ПЭС были получены на сети приемников ГЛОНАСС/GPS, расположенных в Прибайкальском реги-

оне: международная сеть IGS (эксперименты 2006–2012 гг.), сеть SibNet стационарных станций ГЛОНАСС/GPS ИСЗФ СО РАН, дополненная временными пунктами ГЛОНАСС/GPS (эксперименты 2013–2014 гг.). Расчет вариаций ПЭС по данным ГЛОНАСС/GPS проводился по единой методике.

За весь период космических экспериментов было обработано 72 пролета ТГК «Прогресс». Из них в 65 случаях отклик в вариациях ПЭС на работу ДУ зарегистрирован не был. Обнаружение отклика ПЭС на работу СКД ТГК по данным ГЛОНАСС/GPS осложнено рядом факторов: сильная локализация в пространстве и небольшая интенсивность ионосферного возмущения, интегральный характер измерений ПЭС, малое количество приемных станций ГЛОНАСС/GPS и соответственно радиолучей приемник—спутник, наличие фоновых возмущений ионосферы различной интенсивности.

Отклик ПЭС на работу СКД ТГК удалось обнаружить в семи сеансах. Как следует из описания, представленного в двух предыдущих разделах, отклик ПЭС на работу ДУ ТГК был выявлен на радиолучах, проходивших в непосредственной близости от области ионосферы, возмущенной работой ДУ, или пересекавших эту область. При этом геометрия экспериментов была такова, что соответствующие ионосферные точки перемещались преимущественно поперек траектории пролета ТГК. Параметры зарегистрированных откликов приведены в табл. 11.

Таблица 11. Параметры откликов ПЭС на работу ДУ ТГК

Дата	Радиолуч	Время начала регистрации после включения ДУ, мин	Длительность, мин	Амплитуда, TECU	Размер области, км
4.05.2006	IRKJ–G14	1	4.5	0.06	19
	IRKJ–R02	1	6	0.03	25
	BADG–G30	1	5.5	0.05	22
24.04.2011	IRKJ–G07	0.5	4	0.11	12
18.04.2013	ORDA–G07	5	4.5	0.06	17
16.06.2013	BDRY–G17	14	4	0.07	13
	ZAKT–G17	12	6.5	0.06	21
	ZMUR–G17	12	8	0.04	26
18.06.2013	UZUR–R10	0.5	10	0.12	30
16.04.2014	LIST–G08	4	6	0.07	22
	ORDA–R17	5	3	0.16	15
29.07.2014	TORY–G22	8	5	0.12	16

Зарегистрированные отклики ПЭС на работу ДУ ТГК представляли собой уменьшение значений ПЭС длительностью 3–10 мин и амплитудой 0.03–0.16 TECU. Это позволяет сделать заключение, что работа ДУ вызывает уменьшение электронной концентрации. Отклики регистрируются через 0.5–6 мин после включения ДУ.

Зная положения ионосферной точки в моменты времени начала и конца регистрации отклика ПЭС на работу ДУ, можно оценить размер возмущенной области в меридиональном направлении, т. е. поперек траектории пролета ТГК. Оценка проводилась в предположениях, что ионосферные точки пересекают область, возмущенную СКД; при этом возмущенная область перемещается преимущественно в широтном направлении и практически неподвижна в меридиональном. Размер возмущенной области рассчитывался как расстояние по дуге большого круга между двумя указанными выше положениями ионосферной точки.

Было проведено моделирование неоднородностей (рис. 144). В моделировании возмущение считалось цилиндрическим и радиально симметричным. Ось симметрии совпадала с направлением движения ТГК «Прогресс» в момент работы двигателей. При этом поперечный разрез представлял собой двумерную гауссиану, где уменьшение концентрации задаются двумерным нормальным законом:

$$N(h, x) = (1/2\pi\sigma_1\sigma_2)\exp[-1/2((h/\sigma_1)^2 + (x/\sigma_2)^2)],$$

где, σ_1 — дисперсия вдоль луча, σ_2 — дисперсия поперек луча, h — расстояние от центра неоднородности вдоль луча, x — расстояние от центра неоднородности поперек луча. В наших расчетах мы задавали $\sigma_1 = \sigma_2 = 2$ км, т. е. цилиндрически симметричную неоднородность. Размер неоднородности определялась исходя из сравнения с невозмущенными рядами ПЭС, полученными на соседних станциях. Таким образом, мы получали поперечный размер неоднородности в пространстве с учетом положения ионосферных точек.

Сравнение результатов моделирования и реальных данных показано на рис. 144. Видно, что моделирование неоднородности в виде двумерной гауссианы позволяет получить отклонение ПЭС, наблюдавшееся в эксперименте. Несовпадение по времени модельных расчетов и реальных данных может быть вызвано несколькими причинами, например, неверно выбранной высотой плоской ионосферы. Однако несовпадение по времени в данном случае не играет роли, так как цель моделирования состояла в определении максимального отклонения электронной концентрации в центре неоднородности. По нашим данным эта величина составила порядка $3.28 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$. Понятно, что на указанную величину в прямую влияет протяженность неоднородности вдоль луча зрения: если неоднородность вытянута вдоль луча зрения и ее продольный размер в два раза больше поперечного (рис. 145, зеленая неоднородность), отклонение концентрации в центре неоднородности будет меньше тоже в два раза ($1.64 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$).

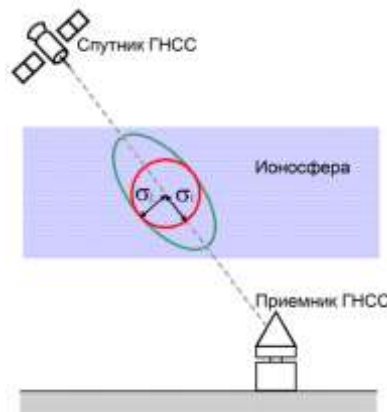


Рис. 144. Схема моделирования ионосферной неоднородности: цилиндрический случай (красная кривая), вытянутый случай (зеленая кривая)

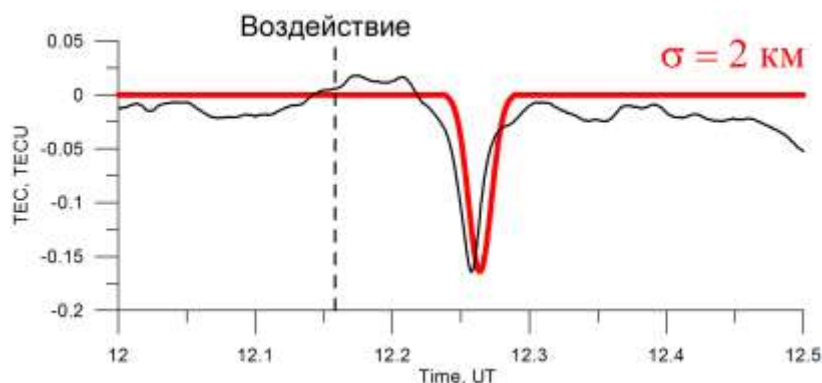


Рис. 145. Вариации ПЭС для спутника ГЛОНАСС-17 станции ORDA, фильтрованные в диапазоне 1–10 мин (чёрная линия), и модельные данные (красная линия)

В табл. 12 приведены рассчитанные таким способом поперечные размеры области, возмущенной работой СКД ТГК, которые составляют порядка 12–30 км. Отметим, что малое число ионосферных точек и их смещение вследствие движения навигационного спутника, не позволяет отследить расширение возмущенной области.

Таблица 12. Параметры модельных неоднородностей ионосферной плазмы

Дата	Радиолуч	$N_{e\text{ mod}}$	D_{mod}
4.05.2006	IRKJ–G14	0.81	18
	IRKJ–R02	0.31	24
	BADG–G30	0.57	22
24.04.2011	IRKJ–G07	1.73	16
18.04.2013	ORDA–G07	0.81	18
16.06.2013	BDRY–G17	1.44	16
	ZAKT–G17	0.56	26
	ZMUR–G17	0.3	32
18.06.2013	UZUR–R10	0.75	40
16.04.2014	LIST–G08	0.72	24
	ORDA–R17	3.28	12
29.07.2014	TORY–G22	1.48	20

Анализ пространственно-временной картины вариаций ПЭС, наблюдавшейся во время активных космических экспериментов 2006–2014 гг., показал, что задача обнаружения отклика ПЭС на работу СКД ТГК осложнена рядом факторов. Воздействие реактивных двигателей на ионосферную плазму сильно локализовано в пространстве и имеет относительно небольшую интенсивность. Интегральный характер измерений ПЭС затрудняет поиск таких возмущений. Малое количество радиолучей «приемник—спутник», обусловленное малым числом приемных станций ГЛОНАСС/GPS (особенно до 2013 г.), существенно снижает вероятность обнаружения локализованных возмущений. Возможный отклик ПЭС маскируется фоновыми возмущениями ионосферы различной интенсивности.

С другой стороны, при удачной геометрии эксперимента радиолуч приемник—спутник может пересекать возмущенную область в ближайшие несколько минут после воздействия. В таком случае амплитуда ионосферного отклика на включение СКД ТГК оказывается в несколько раз больше фоновых вариаций ПЭС в спокойных геомагнитных условиях. В этом случае можно оценить амплитуду вариаций ПЭС и поперечный размер наблюдаемой неоднородности. При такой оценке следует учитывать, что неоднородность не остается статичной, а увеличивается в размерах, при этом электронная концентрация внутри самой неоднородности уменьшается.

Моделирование ионосферной неоднородности в виде двумерной гауссианы позволяет получить отклонение вариаций ПЭС, хорошо согласующееся с экспериментальными данными. Модельные расчеты позволили оценить поперечные размеры неоднородности ~ 4 км, а также амплитуду возмущения электронной концентрации $\sim 3.28 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$. Однако реальное значение электронного возмущения, возможно, отличается от полученного, так как зависит от вытянутости неоднородности вдоль луча зрения. Неоднозначность определения отклонения концентрации может быть разрешена с помощью сопоставления данных, полученных на лучах, проходящих через область воздействия под разными углами.

3.9.3. Список используемых источников

1. Пархомов В.А., Довбня Б.В., Бородкова Н.Л., Сафаргалеев В.В., Пашинин А.Ю. Импульсные всплески геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне 0.2–7 Гц как первый сигнал о взаимодействии межпланетных ударных волн с магнитосферой // Солнечно-земная физика. 2014. Вып. 25. С. 21–28.

2. Parkhomov V.A., Dovbnya B.V., Borodkova N.L., Dmitriev A.V., Safargaleyev V.V., Pashinin A.Y. Impulse bursts of geomagnetic pulsations as the ground signature of contact of interplanetary irregularity with the dayside magnetopause // April, 2016. www.oalib.com/paper/pdf/5263288.

3. Belyaev P.P., Polyakov S.V., Rapoport V.O., Trakhtengerts V.Y. Experimental study of the electromagnetic background noise in the range of short-period geomagnetic pulsations // *Math. Universities, Radio*. 1989. V. 2, N 6. P. 663–671.
4. Поляков С.В., Рапопорт В.О. Ионосферный альфвеновский резонатор // *Геомагнетизм и аэрономия*. 1981. Т. 21, № 5. С. 610–614.
5. Довбня Б.В., Гульельми А.В., Потапов А.С., Клайн Б.И. О существовании надionoсферного резонатора Альфвена. // *Солнечно-земная физика*. 2013. Вып. 22. С. 12–15.
6. Yahnin A.G., Semenova N.V., Ostapenko A.A., Kangas J., Manninen J., Turunen T. Morphology of the spectral resonance structure of the electromagnetic background noise in the range of 0.1–4 Hz at L = 5.2 // *Ann. Geophys.* 2003. V. 21. P. 779–786.
7. Fedorov E., Schekotov A., Hobara Y., Nakamura R., Yagova N., Hayakawa M. The origin of spectral resonance structures of the ionospheric Alfvén resonator. Single high-altitude reflection or resonant cavity excitation? *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2014. V. 119. P. 3117–3129. DOI: 10.1002/2013JA019428.
8. Подлесный С.В., Михалев А.В. Спектрофотометрия среднеширотных сияний, наблюдаемых в регионе Восточной Сибири во время магнитных бурь 27 февраля 2014 г. и 17 марта 2015 г. // *Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XIV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»*. Иркутск, 2015. С. 175–177.
9. Levshin A.A., Frantsuzova V.I., Shkadinskaya G.V. Spectral-temporal analysis of seismic wave // *Computer seismology*. 1968. V. 4. P. 197.
10. Safargaleev V.V., Kozlovsky A.F., Honary F.A., Voronin A.T., Turunen T. Geomagnetic disturbances on ground associated with particle precipitation during SC // *Ann. Geophys.* 2010. V. 28. P. 247–256.
11. Kangas N., Guglielmi A., Pokhotelov O. Morphology and physics of short-period magnetic pulsations // *Space Sci. Rev.* 1998. V. 83. P. 435–512.
12. Нишида А. Геомагнитный диагноз магнитосферы. М.: Мир, 1980. 292 с.
13. Saito T. Geomagnetic pulsations // *Space Sci. Rev.* 1969. V. 10. Iss. 3. P. 319–412.
14. Bösinger T., Haldopis C., Belyaev P.P., Yakunin M.N., Semenova N.V., Demekhov, A.G., Angelopoulos V. Spectral properties of the ionospheric Alfvén resonator as observed at a low latitude station (L=1.3) // *J. Geophys. Res.* 2002. V. 107, N. A10. P. 1281. DOI: 10.1029/2001JA005076.
15. Semenova N.V., Yahnin A.G. Diurnal behaviour of the ionospheric Alfvén resonator signatures as observed at high latitude observatory Barentsburg (L=15) // *Ann. Geophys.* 2008. V. 26. P. 2245–2251.
16. Afraimovich E.L. GPS global detection of the ionospheric response to solar flares // *Radio Sci.* 2000. V. 35, N. 6. P. 1417–1424. DOI: 10.1029/2000RS002340.
17. Zhang D.H., Xiao Z. Study of ionospheric response to the 4B flare on 28 October 2003 using International GPS Service network data // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110, N A03307. DOI: 10.1029/2004JA010738.
18. Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: ГУ НЦ ЗВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006.
19. Воейков С.В., Бернгардт О.И., Шестаков Н.В. Использование индекса возмущенности вертикальных вариаций пэс при исследовании ионосферных эффектов челябинского метеорита // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2016. Т. 56, № 2. С. 234–243.
20. Сорокин А.Г., Добрынина А.А. Сравнительный анализ сейсмических и инфразвуковых сигналов при импульсных событиях и землетрясениях // *Изв. Иркутского университета. Сер.: Науки о Земле*. 2017. Т. 20. С. 106–116.
21. Сорокин А.Г. О нештатной ситуации на космическом корабле МС04 в декабре 2016 г. // *XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»*: Сб. докладов [Электронный ресурс]. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D264–D266. <https://symp.iao.ru/files/СЕКЦИЯ%20D.pdf>.
22. Добрынин В.А., Сорокин А.Г. О применении микроконтроллеров в регистрации инфразвуковых волн // *Международная Байкальская молодежная научная школа по фун-*

даментальной физике. Труды XV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 2017 г. С. 255–257.

23. Власов А.А., Кауристые К., Погорельцев А.И. Изучение внутренних атмосферных гравитационных волн при помощи EISCAT Svalbard Radar // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2009. № 10. С. 117–123.

24. Яковец А.Ф., Водяников В.В., Андреев А.Б., Гордиенко Г.И., Литвинов Ю.Г. Особенности статистических распределений крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений над Алма-Атой // Геомагнетизм и аэрономия. 2011. Т. 51, № 5. С. 650–656.

25. Шашунькина В.М., Деминова Г.Ф., Гончарова Е.Е. Моделирование глобального эффекта ВГВ в ночной ионосфере // Геомагнетизм и аэрономия. 1998. Т. 38, № 5. С. 56–71.

26. Ding F., Wan W., Liu L., et al. A statistical study of large-scale traveling ionospheric disturbances observed by GPS TEC during major magnetic storms over the years 2003–2005 // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2008. V. 113. Iss. A3.

27. Tsugawa T., Saito A., Otsuka Y. A statistical study of large-scale traveling ionospheric disturbances using the GPS network in Japan // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2004. V. 109. Iss. A6.

28. Song Q., Ding F., Wan W., Ning B., Liu L. Global propagation features of large-scale traveling ionospheric disturbances during the magnetic storm of 7–10 November 2004 // Annales Geophysicae. 2012. V. 30. P. 683–694.

29. Белецкий А.Б., Михалев А.В., Черниговская М.А., Шарков Е.А., Покровская И.В. Исследование возможности проявления деятельности тропических циклонов в собственном свечении атмосферы Земли // Иссл. Земли из космоса. 2010. № 4. С. 41–49.

30. Михалев А.В. Некоторые особенности наблюдений среднеширотных сияний и возмущений эмиссий верхней атмосферы во время магнитных бурь в регионе Восточной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 14, № 10. С. 970–973.

31. Михалев А.В., Белецкий А.Б., Костылева Н.В., Черниговская М.А. Среднеширотные сияния на юге Восточной Сибири во время больших геомагнитных бурь 29–31 октября и 20–21 ноября 2003 г. // Косм. иссл. 2004. Т. 4, № 6. С. 616–621.

32. Михалев А.В., Белецкий А.Б., Костылева Н.В., Черниговская М.А. Характеристики среднеширотных сияний во время больших геомагнитных бурь в текущем солнечном цикле // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 1–2. С. 155–159.

33. Тащилин М.А., Белецкий А.Б., Михалев А.В., Xu Jiyaо, Yuan Wei. Некоторые результаты наблюдений пространственных неоднородностей в эмиссии гидроксила // Солнечно-земная физика. 2010. Вып. 15. С. 131–134.

34. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Тащилин М.А., Михалев А.В., Подлесный С.В. Вариации излучения верхней среднеширотной атмосферы в периоды высокой геомагнитной активности // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 2017. С. 290–292. http://bsfp.iszf.irk.ru/images/2017/materials_2017/290-292Syrenova.pdf.

35. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Михалев А.В., Когогин Д.А. Вариации интенсивности атмосферных эмиссий на высотах мезосферы и термосферы в периоды высокой геомагнитной активности // XV Всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: Тезисы докладов. ИКИ. Москва. 13–17 ноября 2017 г. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6386.

36. Белецкий А.Б., Тащилин М.А., Михалев А.В. и др. Комплекс оптических инструментов на высокоширотной станции «Исток» ИСЗФ СО РАН // XXII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»: Материалы. Томск, 2016. С. 162–167.

37. Khakhinov V., Potekhin A., Shpynev B., et al. Results of complex radio sounding of ionospheric disturbances generated by the transport spacecraft “Progress” onboard thrusters // Proc. 30th URSI General Assembly and Scientific Symposium. 2011. URL: <http://www.ursi.org/proceedings/procGA11/ursi/HP2-15.pdf> (дата обращения 12.05.2017).

38. Khakhinov V.V., Shpynev B.G., Lebedev V.P., et al. Radio sounding of ionospheric disturbances generated by exhaust streams of the transport spacecraft “Progress” engines // Proc. PIERS-2012. Moscow, 2012. P. 1168–1171.

39. Хахинов В.В., Потехин А.П., Лебедев В.П. и др. Результаты дистанционного зондирования ионосферных возмущений в активных космических экспериментах «Радар–Прогресс» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 3. С. 199–206.

40. Хахинов В.В., Потехин А.П., Кушнарев Д.С. и др. Исследования ионосферных возмущений в активном космическом эксперименте «Радар–Прогресс» // XXIV Всероссийская конференция по распространению радиоволн: Труды. Иркутск, 2014. Т. 2. С. 33–36.

41. Сейсмоионосферные и сейсмoeлектромагнитные процессы в Байкальской рифтовой зоне / отв. ред. Жеребцов Г.А. (Интеграционные проекты СО РАН. Вып. 35). Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2012. С. 304.

42. Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: Изд-во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. С. 480.

43. Ишин А.Б., Перевалова Н.П., Воейков С.В. Первые результаты регистрации ионосферных откликов на работу двигательных установок ТГК «Прогресс» по данным сети SibNet приемников ГНСС // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 4. С. 82–92.

4. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И АППАРАТУРЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АСТРОФИЗИКИ И ГЕОФИЗИКИ

Научные исследования выполнялись в отделах физики Солнца и радиоастрофизики.

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 и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач».

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

1.1. Проект П.16.3.3 «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Рег. номер 01201281648. Руководители проекта — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой.

2. Программа Президиума РАН № 7 «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд. Переходные и взрывные процессы в астрофизике». Координаторы — академик Л.М. Зеленый, чл.-корр. Б.М. Шустов.

2.1 Проект «Фундаментальные основы мониторинга и контроля околоземного космического пространства в оптическом диапазоне». Руководитель проекта — чл.-корр. РАН В.М. Григорьев.

4.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента

4.1.1. Разработка и создание перспективных проблемно-ориентированных телескопов и приборов

4.1.1.1. Создание Солнечного синоптического телескопа

В 2017 г. на базе Байкальской астрофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН (БАО, п. Листвянка) был успешно завершен этап по монтажу оптико-механических узлов Солнечного синоптического телескопа (СОЛСИТ), предназначенного для мониторинга векторных магнитных полей Солнца, движений плазмы и струк-

туры хромосферы [1, 2]. Работы были проведены специалистами Ленинградского оптико-механического объединения (АО ЛОМО, Санкт-Петербург) и ИСЗФ СО РАН. Установлены монтировка и труба телескопа, главное и вторичное зеркала в оправе, корпус и узлы спектрографа. Проведены балансировка трубы и юстировка монтировки телескопа, а также первичная юстировка внеосевой оптической системы. На приводы монтировки были установлены штатные двигатели, с помощью которых осуществлено тестовое наведение телескопа по оси склонения и часовой оси. Следующие этапы интеграции будут включать установку поляриметра, гидирующего телескопа, объективов для построения изображений на щели и фоторегистраторе спектрографа.

4.1.1.2. Разработка широкоугольных электрооптических модуляторов поляризованного излучения

Одной из важнейших задач современной экспериментальной физики Солнца является создание и совершенствование спектрополяриметров — приборов для измерения магнитных полей. Сердце спектрополяриметра — модулятор. DKDP-модулятор поляризации на основе продольного электрооптического эффекта характеризуется нестабильностью работы и ошибками измерений, обусловленными конечным размером поля зрения модулятора. Крайне необходимой является разработка стабильных модуляторов, имеющих длительное время работы и большое поле зрения, уменьшающее просачивание паразитной засветки и минимизирующее ошибки поляриметрии.

Идеальный электрооптический модулятор изотропен при отсутствии внешнего электрического поля и становится одноосным кристаллом, если к нему приложено напряжение. В реальности все известные кристаллы, в которых используется электрооптический эффект, уже являются одноосными. Они становятся двухосными, когда к ним прикладывают электрическое напряжение (эффект Поккельса). Мы рассчитали двупреломление электрооптического кристалла при произвольном угле падения для двух вариантов схем расширения углового поля модулятора, описанных в [3]. На рис. 146 показаны фотографии коноскопических изображений до применения преобразований схемы, расширяющих угловое поле модулятора. Если напряжение не прикладывается к кристаллу, коноскопическая картина (угловое поле) проявляется в виде креста (изоклины) с кольцами (изохромами). Экран фотографируется сбоку, поэтому изохромы не круглые, а эллиптические. Центр креста показывает направление оптической оси кристалла. На рис. 146, *а* показано коноскопическое изображение для одного кристалла DKDP; на рис. 146, *б* — для двух кристаллов DKDP. При подаче напряжения одноосный кристалл превращается в двухосный, крест расщепляется (рис. 146, *в*), центральная часть просветляется.

На рис. 147 показаны схемы расширения углового поля модулятора и соответствующие этим схемам изображения углового поля, полученные при нулевом напряжении и при подаче напряжения на DKDP. На схемах поляризатор и анализатор скрещены. На рис. 146, *а* — исходная схема с одним кристаллом DKDP, на рис. 147, *б* — схема с компенсирующей пластинкой, изготовленной в ИСЗФ СО РАН из положительного синтетического кристалла фтористого магния (производство ЛенЗОС), на рис. 147, *в* — схема с фазовыми полуволновыми пластинками нулевого порядка интерференции, изготовленными в ИСЗФ СО РАН из синтетического кристаллического кварца (производство ВНИИСИМС г. Александров, Владимирской обл.). Черточками на схемах показана ориентация поляризационных элементов: поляризаторов, полуволновых пластинок, плоскости индуцированных осей DKDP, а кружочком с точкой — направление оптической оси в пластинках из фтористого магния. Красный кружок на коноскопическом изображении в левой части рис. 147 — угловое поле поляриметра.

Как показывает рис. 147, добавление положительной пластинки фтористого магния к отрицательному электрооптическому кристаллу модулятора DKDP (рис. 147, *б*) и установка ротатора между модуляторами (рис. 147, *в*) практически неограниченно увеличивают поле зрения при выключенном напряжении. Крест расширяется и занимает все поле

зрения. Просветленные участки на коноскопическом изображении с ротатором на рис. 147, в можно объяснить не вполне точной ориентацией поляризационных элементов. В итоге при включенном напряжении добавление пластинки фтористого магния показывает широкую коноскопическую картинку, почти полное устранение кольцевых структур, уменьшение просачивания и увеличение углового поля на 40 %. Использование двух скрещенных модуляторов с установкой между ними фазового ротатора из двух полуволновых пластинок в два раза увеличивает поле зрения по сравнению с отдельным модулятором.

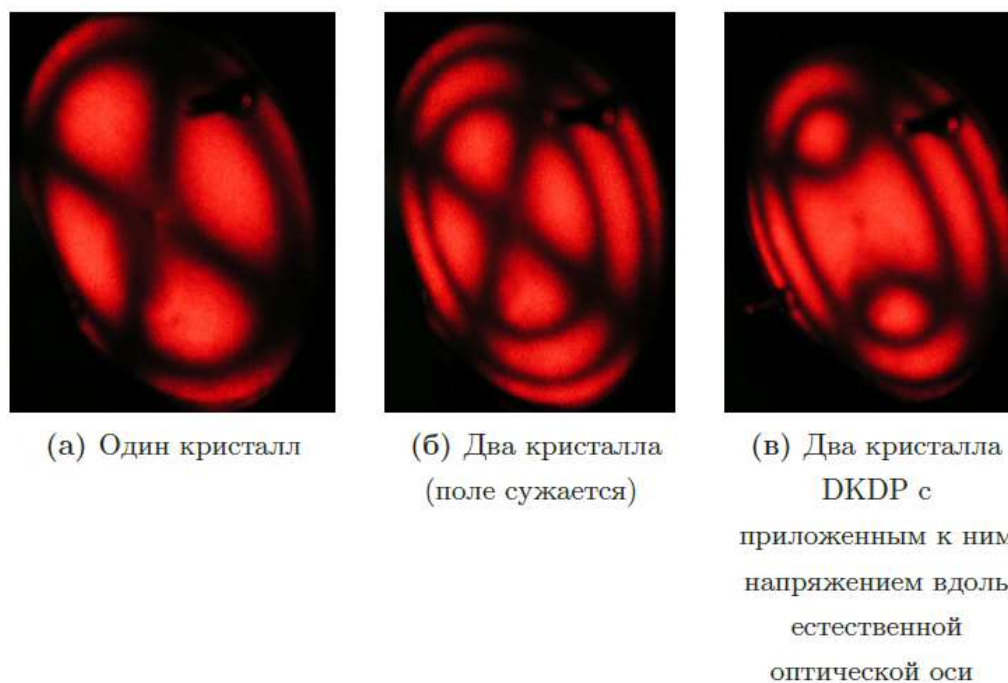


Рис. 146. Коноскопические изображения кристалла DKDP (толщина пластинки 2 мм) вдоль естественной оптической оси

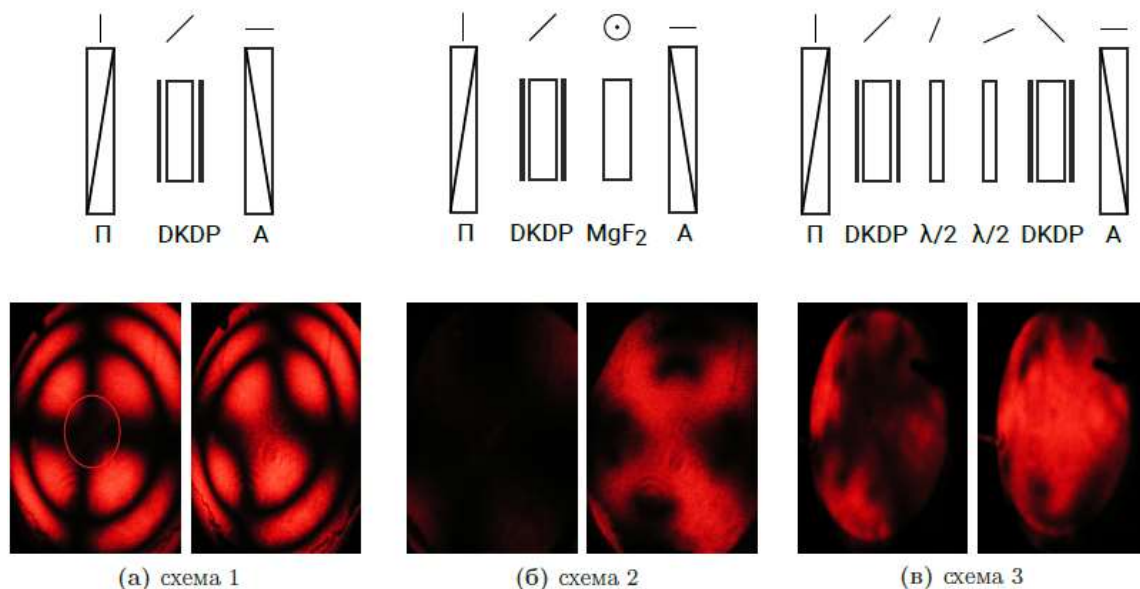


Рис. 147. Схемы (вверху) и угловое поле модуляторов, соответствующие этим схемам. Схема 1 — исходная до расширения углового поля; схема 2 — с компенсирующей пластинкой фтористого магния; схема 3 — с фазовыми полуволновыми пластинками из синтетического кварца. Изображения слева — без напряжения, справа — под напряжением

4.1.2. Разработка и создание методов и инструментов для исследования солнечных магнитных полей и движений плазмы

4.1.2.1. Макет спектрополяриметра для измерения вектора магнитного поля

В 2017 г. выполнен этап макетных работ по созданию спектрополяриметра СОЛСИТ, реализуемый на специальном стенде на базе автоматического солнечного телескопа (АСТ) Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН (диаметр зеркал целостата 800 мм, фокусное расстояние главного зеркала 20 м, дифракционный спектрограф с решеткой 200×300 мм, 600 штр/мм). Макет спектрополяриметра состоит из блоков анализатора, фоторегистратора, калибровки и управления. Блок анализатора предназначен непосредственно для анализа поляризации излучения. С его помощью реализуется некоторая оптическая схема для измерения компонент вектора Стокса, в которую обычно входят модулятор состояния поляризации анализируемого излучения, фазосдвигающие пластинки и поляризаторы. Этот блок располагается за щелью спектрографа, которая вырезает фрагмент изображения солнечного диска. Блок фоторегистратора установлен в фокальной плоскости спектрографа и предназначен для получения изображений спектра, соответствующих одному из состояний модулятора. Блок калибровки используется для генерации калибровочного сигнала и учета с его помощью инструментальной поляризации. Он может располагаться перед входной апертурой телескопа, а также перед входной щелью спектрографа. Блок управления обеспечивает синхронизированную работу анализатора, фоторегистратора и телескопа и отвечает за получение и обработку данных измерений.

С помощью макета в реальных условиях наблюдений проводятся испытания поляризационной оптики и электрооптических устройств, созданных в ИСЗФ СО РАН. Использование дифракционного спектрографа АСТ позволяет выполнять исследовательские и методические задачи в широком спектральном диапазоне, а также различные экспериментальные задачи физики Солнца. Дальнейшее развитие макета связано с автоматизацией калибровочных процедур и оптимизацией оптических схем для более эффективного использования светового потока.

4.1.2.2. Развитие методики измерения магнитных полей Солнца

Современные компоненты, используемые в стенде, на котором проводятся макетные работы по созданию спектрополяриметра СОЛСИТ, позволяют реализовывать и разрабатывать различные методики измерений солнечных магнитных полей. Ранее в Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН (ССО ИСЗФ СО РАН) был создан вектор-магнитограф [4]. Его модуляционная схема взята за основу разрабатываемого макета спектрополяриметра. В схеме используются два DKDP-модулятора, управляемые высоковольтными программируемыми источниками высокого знакопеременного напряжения. Последние обеспечивают быструю смену полярности управляющего напряжения, а также нулевое напряжение. Постоянные фазовые сдвиги вносятся двумя четвертьволновыми пластинками. На выходе установлен поляризатор. Интенсивность каждого из шести изображений спектров, регистрируемых камерой, можно представить в виде произведения матриц Мюллера. Возможные комбинации фазовых сдвигов дают шесть различных состояний поляриметра и описываются матрицей модуляции. Проведены калибровочные процедуры макета, учитывающие погрешности юстировки элементов оптической системы поляриметра и инструментальную поляризацию самого телескопа.

На рис. 148 показаны результаты измерения вектора магнитного поля для активной области NOAA 12665 (2017-07-13, 00:46 UT). Слева — векторные магнитограммы, полученные на макете спектрополяриметра АСТ ССО ИСЗФ СО РАН, справа — векторные магнитограммы, полученные по данным орбитальной космической обсерватории SDO/HMI. Для вычисления магнитного поля в обоих случаях использовался программный пакет VFISV. Сравнение левой и правой частей рисунка показывает их хорошее соответствие. Количественный анализ и сравнение различных магнитограмм будут проведены на следующих этапах проекта.

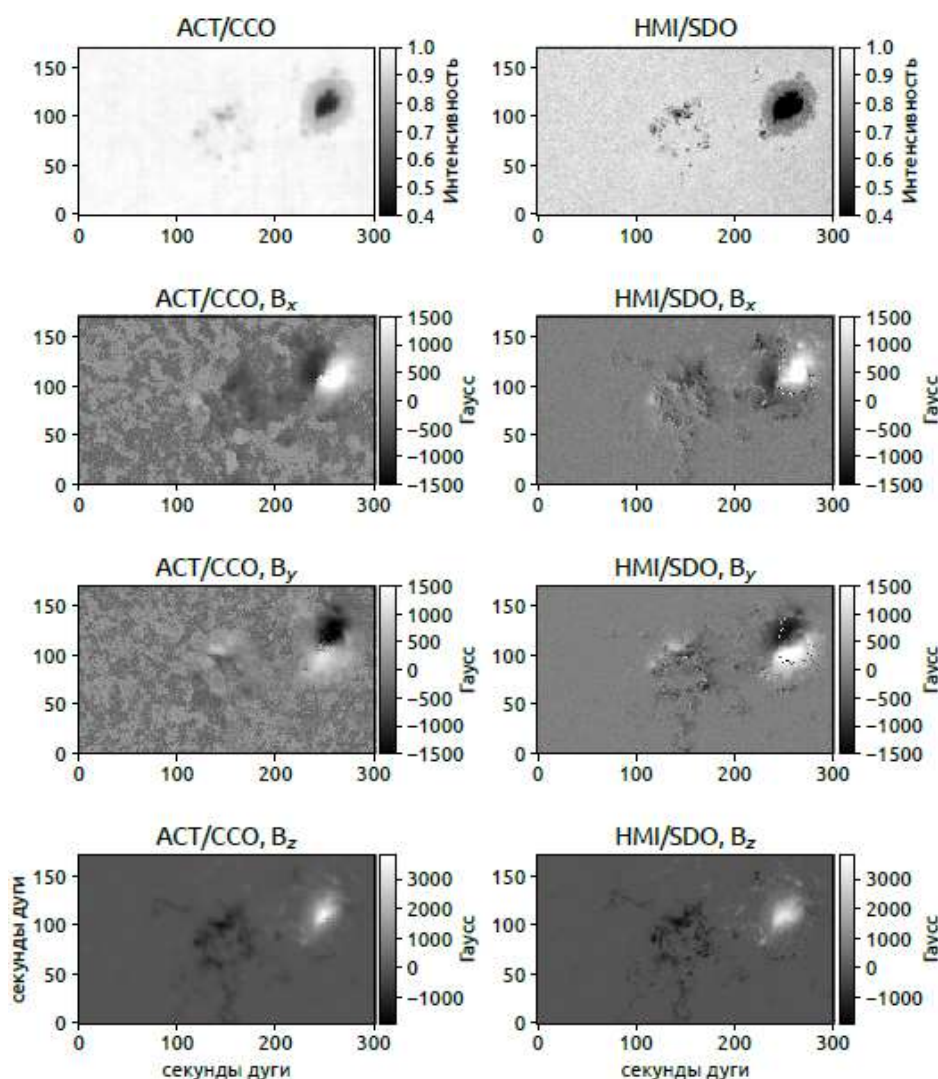


Рис. 148. Векторные магнитограммы активной области NOAA 12665, 2017-07-13, 00:46 UT, полученные на макете спектрополяриметра ACT CCO и по данным SDO/HMI

4.1.3. Развитие многочастотного радиогелиографа и спектрополяриметров полного потока

В настоящее время в радиоастрономической обсерватории ИСЗФ СО РАН (РАО ИСЗФ СО РАН) проводятся регулярные наблюдения Солнца с помощью 48-элементной решетки солнечного радиогелиографа (СРГ-48), антенны которой установлены на центральных антенных постах Саянского солнечного радиотелескопа (ССРТ) вдоль восточного, западного и южного лучей [5]. Продолжаются юстировка и отладка систем СРГ-48. Метод построения изображений СРГ-48 — параллельный фурье-синтез. Временное разрешение СРГ-48, определяемое характеристиками регистрирующей аппаратуры, на порядки выше, чем у ССРТ. Частотные каналы с полосой 10 МГц каждый задаются программой управления в диапазоне 4–8 ГГц. Интервал между измерениями на одной частоте составляет 0.56 с, время переключения частоты приема — около 2 с. Максимальная база составляет 107.4 м, пространственное разрешение достигает 70'' на 8 ГГц. Принимаются обе круговые поляризации излучения, а чувствительность по компактным источникам достигает 10^{-4} полного потока Солнца. Количество принимаемых частотных каналов можно менять в зависимости от задачи наблюдений. Регулярные наблюдения ведутся на частотах 4.5, 5.2, 6.0, 6.8, 7.5 ГГц. Данные, необходимые для построения радиокарт, доступны на <ftp://badary.iszf.irk.ru/data/srh48/>.

Выполнен этап по разработке программного обеспечения СРГ-48 для обработки и представления данных. Создана компьютерная программа на языке Python. Язык Python имеет интерактивный интерфейс и встроенные средства для параллельных вычислений с использованием вычислительных кластеров, что важно для обработки ресурсоемких радионаблюдений, таких как данные второй очереди СРГ. Программное обеспечение позволяет строить изображения Солнца, производить их чистку, калибровать в единицах яркостной температуры и тестировать на реальных данных.

Наряду с изображениями полного диска Солнца, представляют интерес так называемые корреляционные кривые, являющиеся аналогом радиопотока и наглядно представляющие изменения во времени суммы кросскорреляций всех пар антенн. Изменения на корреляционных кривых связаны с вариациями яркости источников и их структуры [6]. Значение чувствительности СРГ-48, измеренное по флуктуациям корреляционной кривой, не хуже 10^{-2} СЕП. Результаты работы программы по построению корреляционных кривых и Quick-Look изображений Солнца в реальном масштабе времени приводятся на <http://badary.iszf.irk.ru/srhCorrPlot.php>. Пример показан на рис. 149.

Проведены работы по модернизации солнечного спектрополяриметра метрового диапазона (ССМД). Спектрополяриметр представляет собой супергетеродинный приемник 50–500 ГГц с перестройкой частотных диапазонов и разбиением каждого диапазона на частотные каналы с шириной полосы пропускания 98 кГц. Общее количество каналов составляет 4608. Время обзора всей полосы частот ~ 1 с. Регистрируются обе круговые поляризации. В результате модернизации ССМД повышены чувствительность и стабильность приемного тракта, увеличен динамический диапазон принимаемых сигналов.

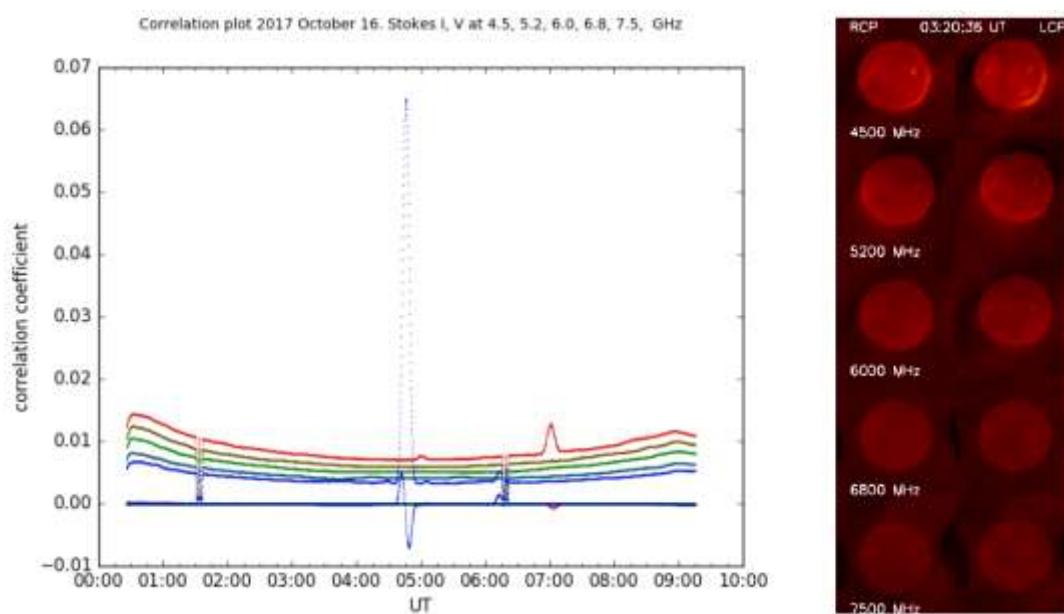


Рис. 149. Корреляционная кривая и изображения Солнца в правой (RCP) и левой (LCP) круговой поляризации с сайта РАО

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

В 2017 г. продолжены исследования пространственной структуры атмосферной турбулентности в оптически активном слое атмосферы на астроплощадках ИСЗФ СО РАН. Выполнены измерения волнового фронта и определен эффективный внешний масштаб турбулентности. Для астроплощадки ССО ИСЗФ СО РАН эффективный внешний масштаб составляет около 20 м в ночное время и 29 м в дневное, для астроплощадки БАО —

около 23 м для дневных условий. Полученные оценки использованы в качестве одного из блоков при решении задач по уточнению деформаций формы спектра мелкомасштабных флуктуаций показателя преломления воздуха по лучу зрения телескопа. Они также лежат в основе разработки новых методов адаптивной коррекции аберраций волнового фронта в широком поле зрения.

На основе модели турбулентных течений, согласованной с данными реанализа NCEP/NCAR, выполнены расчеты вертикальных изменений структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха в диапазоне высот 0–18 км в теплый и холодный периоды. На рис. 150 показаны результаты расчета вертикальных профилей структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха на 0.5 мкм в дневное время для летнего и зимнего периодов.

В летний период структурная характеристика флуктуаций показателя преломления воздуха существенно ниже практически для всех высот (в среднем в 3.2 раза), чем в зимний период. Несмотря на существенные сезонные изменения структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха, в пространственном распределении этой величины по вертикали выявляется атмосферный слой с повышенной интенсивностью турбулентности, высота которого слабо меняется от зимы к лету. Над уровнем Байкальского солнечного вакуумного телескопа (БСВТ, БАО) этот слой находится на высоте порядка 11.5 км [7]. В теплый период интенсивность турбулентности в этом слое, как и его вертикальная мощность, уменьшаются. Это может быть связано с сезонной динамикой формирующегося под тропопаузой струйного течения. Знание распределения интенсивности турбулентности по высотам является основой моделирования искажений фронта волны по лучу зрения телескопа.

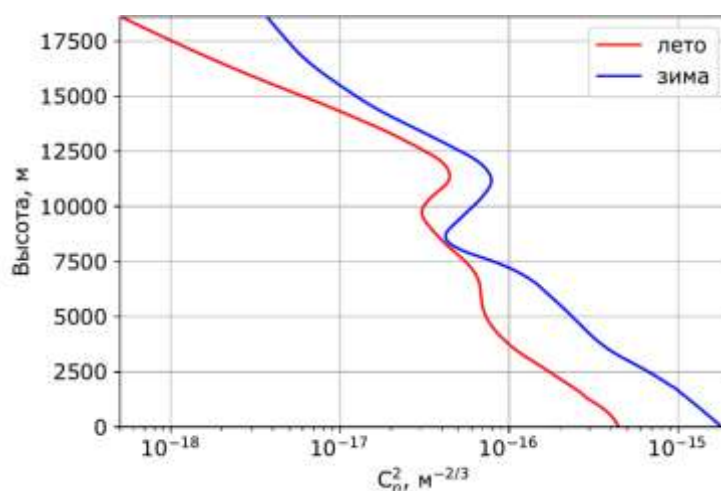


Рис. 150. Вертикальные профили структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха на 0.5 мкм в дневное время для летнего и зимнего периодов

4.1.5. Разработка широкоугольной оптической системы для диагностики состояния быстро перемещающихся космических объектов

Для диагностики состояния быстроперемещающихся объектов в околоземном космическом пространстве (космический мусор, элементы выведения и полезной нагрузки, находящиеся на низких орбитах с неточными или быстроменяющимися характеристиками) применение крупных телескопов с малым полем зрения не всегда технически и экономически оправдано. В настоящее время в ИСЗФ СО РАН проводится исследование оптической схемы с полем сканирования, превышающим размеры мгновенного поля зрения в несколько раз. Предлагаемая оптическая схема является развитием ранее предложенного зеркального объектива [8]. Созданные на ее основе телескопы с апертурой порядка 0.5 м будут способны в значительной степени дополнять функционал крупноапертурных теле-

скопов. В разрабатываемой оптической схеме сканирование осуществляется наклонами афокального отражающего элемента во входном зрачке вокруг вершины. Достоинством подхода является сохранение юстировки системы и, как следствие, сохранение ее характеристик для всего сканируемого поля зрения. В результате обеспечивается многократное увеличение скорости наведения по сравнению с монтировкой, что позволяет отслеживать объекты на низких орбитах.

К преимуществам этой оптической системы можно отнести также простоту и дешевизну изготовления, малую чувствительность к точности взаимного положения оптических элементов, отсутствие бликов вблизи фокальной плоскости, удобное внешнее положение фокальной плоскости, позволяющее размещать крупногабаритную фотоприемную аппаратуру, меньшее экранирование входного зрачка, а также уникальную возможность сканирования поля зрения planoидным зеркалом. Основным недостатком является малая светосила системы, ограниченная специфическими аберрациями в центре поля зрения, обусловленными наклоном planoидной поверхности. Наклон, в свою очередь, зависит от относительного отверстия, положения фокальной плоскости и поля зрения системы (рис. 151).

Для расчета зависимости предельного относительного отверстия главного зеркала от светосилы предложена новая универсальная методика, основанная на минимизации функции зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) волнового фронта от кривизны planoидной поверхности при вершине.

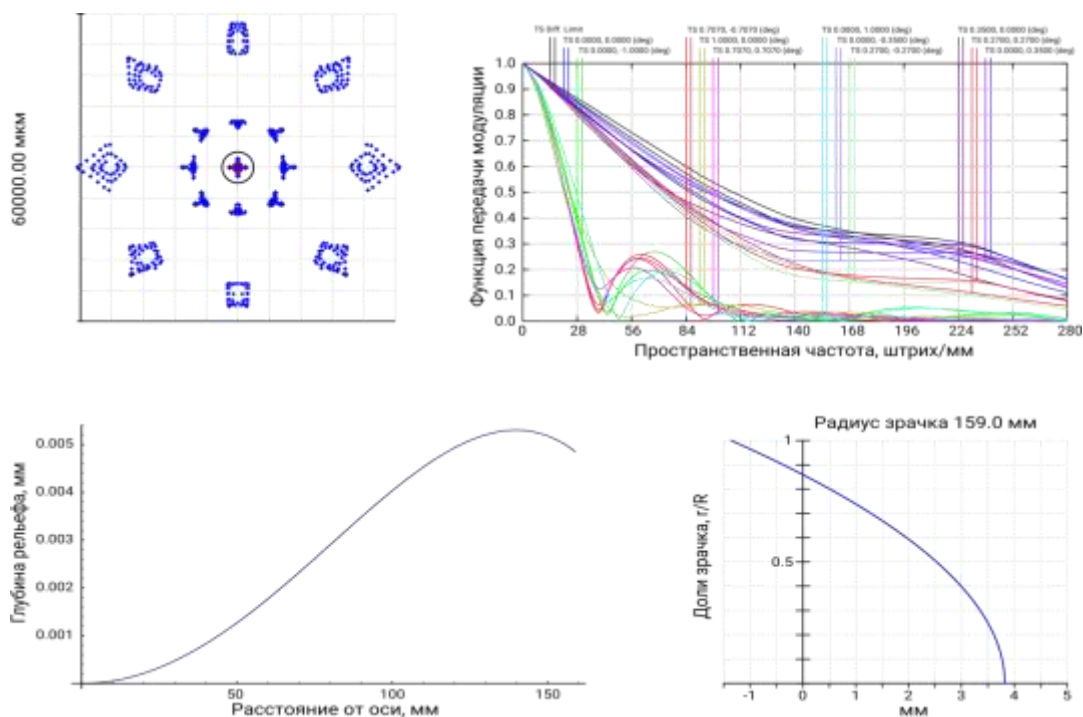


Рис. 151. Геометрические аберрации (вверху слева), частотно-контрастные характеристики (вверху справа), профиль planoидной поверхности (внизу слева) и продольные аберрации главного зеркала в фокальной плоскости, установленной в фокусе зоны 0.86 радиуса входного зрачка (внизу справа)

4.1.6. Список использованных источников

1. Demidov M. Possibilities and problems of solar magnetic field observations for space weather forecast // Solar-Terr. Phys. 2017. V. 3, N 1. P. 26–39. DOI: 10.12737/23279.
2. Демидов М.Л. и др. СОЛнечный СИноптический Телескоп для исследования магнетизма Солнца и космической погоды // Всероссийская астрономическая конференция «Астрономия: Познание без границ»: Тезисы докладов. Ялта, Крым, 2017.
3. West E. Development of a large field-of-view KD*P modulator-center director's discretionary fund final report (project no. 91-23). — 06/1993.

4. Григорьев В.М. и др. Вектор-магнитограф Саянской солнечной обсерватории // Бюллетень Абастуманской астрофизической обсерватории. 1985.
5. Лесовой С.В. и др. Сибирский радиогелиограф: первые результаты // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, N 1. С. 3–16. DOI: 10.12737/24347. arXiv: 1704.07100v3 [astro-ph.SR].
6. Лесовой С.В., Кобец В.С. Корреляционные кривые Сибирского радиогелиографа // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 17–21. DOI: 10.12737/23588. arXiv: 1705.10043 [astro-ph.IM].
7. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Киселев А.В. О динамике эффективной скорости атмосферных турбулентных течений в горных районах юга Восточной Сибири // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, ИСЗФ СО РАН, ISSN 2415-7082, 09.2017. С. 300–301.
8. Чупраков С.А. Свойства оптических систем с децентрированными центрально-симметричными planoидными поверхностями в области аберраций третьего порядка // Оптический журнал. 2008. Т. 75, № 7. С. 48–54. URL: <http://opticjourn.ru/download/private/07200848.pdf>

4.2. Фотометрические наблюдения и исследования нестационарных астрофизических объектов на телескопе АЗТ-33ИК

4.2.1. Установка нового спектрального и фотометрического оборудования на телескопе АЗТ-33ИК и результаты его применения

Большой объем работ в рамках проекта был связан с подготовкой 1.6-метрового телескопа АЗТ-33ИК к использованию в комплексе наземной оптической поддержки космической обсерватории «Спектр-РГ». В сотрудничестве с ИКИ РАН телескоп оснащен спектрометром низкого и среднего разрешения АДАМ, позволяющим получать спектры слабых звездообразных объектов до 21 звездной величины. После установки спектрометра на телескопе, проведены спектроскопические наблюдения скоплений галактик, активных ядер галактик, квазаров, катаклизмических переменных [1, 2]. В текущем году получены спектры около 20 объектов. Результаты спектрометрических наблюдений различных астрофизических объектов позволяют сделать выводы о том, что существенная часть оптических наблюдений по программе наземной оптической поддержки обзора всего неба обсерватории «Спектр-РГ» может быть обеспечена наблюдениями на телескопе АЗТ-33ИК. С помощью нового спектрометра открыт один из наиболее далеких ($z=5.08$) оптически ярких ($i' < 21$) квазаров, обнаруженных в рентгеновских обзорах, его спектр показан на рис. 152 [3].

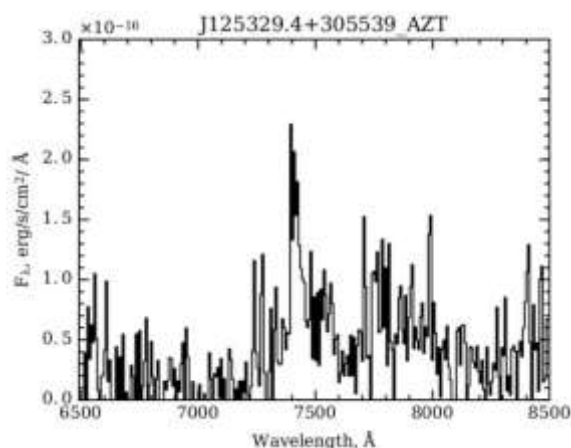


Рис. 152. Спектр квазара 3ХММ J125329+305539 на красном смещении 5.08, измеренный спектрографом АДАМ

4.2.2. Наблюдения оптических послесвечений гамма-всплесков и фотометрический мониторинг астрофизических объектов на телескопе АЗТ-33ИК

В рамках работ по изучению природы космических гамма-всплесков проводились регулярные фотометрические наблюдения оптических послесвечений гамма-всплесков, как правило, в полосе R. Сведения о событиях (координаты площадок) поступали через сеть GCN от космических гамма- и рентгеновских телескопов (спутники Swift и Fermi), либо от наземных оптических телескопов, первыми обнаруживших послесвечение в оптическом диапазоне. Целью наблюдений является фотометрия источника (оптического транзientа, ОТ) для построения кривой блеска. Время, в течение которого ОТ доступен для наблюдений, может составлять от нескольких часов до нескольких суток, поэтому задача построения полной кривой блеска может быть решена только силами нескольких телескопов, рассредоточенных по долготе. Каждый отдельный телескоп может внести в общую кривую только несколько точек. На рис. 153 представлен пример кривой блеска, полученной по наблюдениям пяти телескопов, в том числе 1.6-метрового телескопа АЗТ-33ИК. По наблюдениям этого объекта был сделан вывод о появлении сверхновой [4].

В 2017 г. проведены наблюдения следующих площадок: ATLAS17cgg, G275697/Sw23, GRB141121A, GRB150518A, GRB161108A, GRB161219B, GRB170120, GRB170121B, GRB170206B, GRB170214A, GRB170227/iPTF17bub, GRB170227/iPTF17bue, GRB170317A, GRB170318A, GRB170325A, GRB170519A, GRB170531B, GRB170608X2, GRB170714A, GRB170728B, GRB171007A, GRB171010A, GRB170823-GWFUNC-17ure, GRB170825-M_OTJ033744.97+723159.0, GRB171010A. Также наблюдались объекты PS17bek, PS17dp, PS17fl, PS17fn, PS17gl, PS17lk, PS17nv, PS17pv, PS17qk, PS17rc, PS17yt, входящие в список транзientов, обнаруженных телескопом Pan-STARRS1 в ходе обзора, направленного на локализацию гравитационно-волнового события LIGO/Virgo G268556 (2017-01-04). Выпущены GCN циркуляры №№ 20442, 20687, 20893, 20924, 20978, 21160, 21206, 22113 по наблюдениям площадок GRB 161219B, 170214A, 170317A, 170325A, 170519A, 171010A, PS17dp, PS17fl, PS17fn, PS17gl.

В статье Вольновой и др. [5] представлены оптические наблюдения SN 2013dx (Fermi событие GRB 130702A, $z = 0.145$). Выполнено численное моделирование фильтровых кривых блеска. Получены оценки массы и размера исходной звезды и компактного остатка, полной энергии взрыва.

Продолжены мониторинговые фотометрические измерения оптического излучения микроквара Cyg X-1 и квазара 3C 273 в полосах BVRI на телескопе АЗТ-33ИК. Данные по Cyg X-1 дополнены измерениями в ближнем инфракрасном диапазоне в полосах JH. Получены 3 ночи фотометрических наблюдений события микролинзирования в двойной системе Gaia16aye.

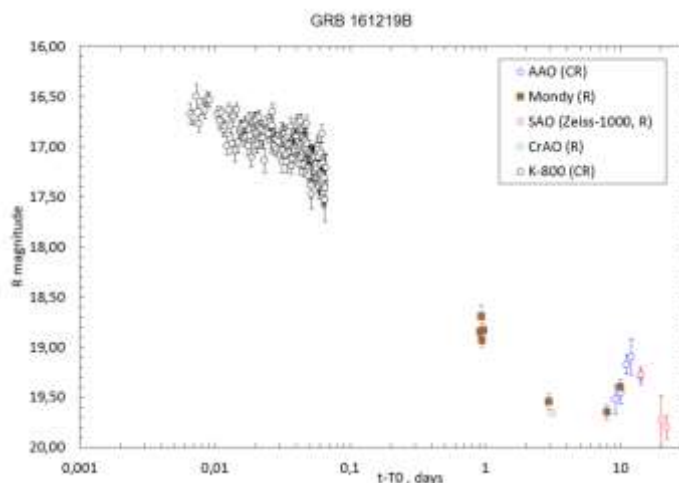


Рис. 153. Кривая блеска GRB 161219B (сверхновая SN2016jca), коричневыми квадратами обозначены точки, полученные на телескопе АЗТ-33ИК

4.2.3. Список используемых источников

1. Буренин Р.А., Амвросов А.Л., Еселевич М.В., Григорьев В.М., Арефьев В.А., Воробьев В.С., Лутовинов А.А., Ревнивцев М.Г., Сазонов С.Ю., Ткаченко А.Ю., Хорунжев Г.А., Яскович А.Л., Павлинский М.Н. Наблюдательные возможности нового спектрографа среднего и низкого разрешения на 1.6-м телескопе Саянской обсерватории // Письма в АЖ: Астрономия и космическая астрофизика. 2016. Т. 42, №5. С. 333–345.

2. Буренин Р.А., Ревнивцев М.Г., Ткаченко А.Ю., Воробьев В.С., Семена А.Н., Мещеряков А.В., Додонов С.Н., Еселевич М.В., Павлинский М.Н. Выборка катаклизмических переменных, обнаруженных в рентгеновском обзоре площадью 400 кв. градусов // Письма в АЖ: Астрономия и космическая астрофизика. 2016. Т. 42, № 4. С. 273.

3. Хорунжев Г.А., Буренин Р.А., Сазонов С.Ю., Амвросов А.Л., Еселевич М.В., Оптическая спектроскопия кандидатов в квазары на $3 < z < 5.5$ из рентгеновского обзора обсерватории ХММ-Ньютон. Далекий рентгеновский квазар на $z = 5.08$ // Письма в АЖ. 2017. Т. 43, № 3, С. 135–145. DOI: 10.1134/S1063773717030045.

4. Mazaeva E., Klunko E., Volnova A., Korobtsev I., Pozanenko A. GRB 161219B: afterglow and SN2016jca optical observations// GRB Coordinates Network. Circular Service. 2017. № 20442.

5. Volnova A.A. et al. Multicolour modelling of SN 2013dx associated with GRB 130702A // Monthly Not. of the Royal Astron. Soc. 2017. V. 467. Iss. 3. P. 3500–3512. DOI: 10.1093/mnras/stw3297.

4.3. Методы диагностики процессов солнечной активности и ее проявлений в ММП, магнитосфере и ионосфере Земли

4.3.1. Диагностика солнечных факторов возмущений космической погоды

В 2016 г. начаты регулярные наблюдения на первой очереди многоволнового Сибирского радиогелиографа (СРГ). Конструкция СРГ и результаты первых наблюдений описаны в работе [1]. В настоящее время эксплуатируется первая очередь СРГ с Т-образной конфигурацией антенн, работающей в диапазоне частот 4–8 ГГц. Принципом формирования изображения является фурье-синтез. Частоты наблюдений с мгновенной полосой 10 МГц задаются протоколом наблюдений. Сигналы антенн, переданные по оптоволокну, обрабатываются цифровыми приемниками. После обработки данные передаются на коррелятор через высокоскоростной последовательный интерфейс. Пространственное разрешение 48-антенной решетки менее 1 угл. мин, время переключения частоты менее 1 с.



Рис. 154. Антенная решетка Сибирского радиогелиографа

Чувствительность по яркостной температуре составляет ~ 100 К. Тестовые наблюдения показали, что чувствительность радиогелиографа достаточна для обнаружения источников с потоком менее 10^{-4} излучения спокойного Солнца как целого. Данные наблюдений радиогелиографа дополняются наблюдениями на спектрополяриметрах интегрального потока с общим диапазоном от 50 МГц до 24 ГГц. Данные доступны на <http://badary.iszf.irk.ru>. Новые

возможности многоволнового радиогелиографа позволяют получать изображения с высоким временным разрешением и локализовывать структуры, наблюдаемые в микроволновом диапазоне. С использованием многоволновых данных Сибирского радиогелиографа и спектральных наблюдений широкополосного микроволнового спектрополяриметра 4–8 ГГц были исследованы вспышки в марте–апреле 2016 г. Качественный и количественный анализ событий был выполнен использованием микроволновых и рентгеновских наблюдений [1, 2].

На рис. 155 показан пример данных, полученных СРГ 9 сентября 2017 г. В первой половине светового дня наблюдались транзистентные уярчания. Уменьшение плотности потока в 07:15–07:45 имеет солнечное происхождение. Уменьшение вызвано экранированием эффективно излучающей в микроволновом диапазоне области, расположенной над пятном. Экранирование осуществляется холодной плазмой, выбрасываемой из окрестности пятна. Наблюдения таких событий дают уникальную возможность диагностики выбросов плазмы в активных областях.

Информацию о динамических процессах в гелиосфере дает мониторинг электромагнитных характеристик межпланетной среды по эффектам в космических лучах (КЛ). Саянский горный спектрографический комплекс состоит из трех автоматических станций космических лучей (АСКЛ), расположенных на разных высотах: 435 м (АСКЛ-1), 2000 м (АСКЛ-2) и 3000 м (АСКЛ-3) над уровнем моря, оснащенных нейтронными мониторами 18-НМ-64, 12-НМ-64 и 6-НМ-64 соответственно. Диапазон спектральной чувствительности составляет от 4 до 30–50 ГэВ. Данные совместно с мировой сетью станций позволяют разделять эффекты магнитосферного и межпланетного происхождения, исследовать вариации анизотропии и энергетического спектра галактических и солнечных КЛ, а также спектры солнечных нейтронов.

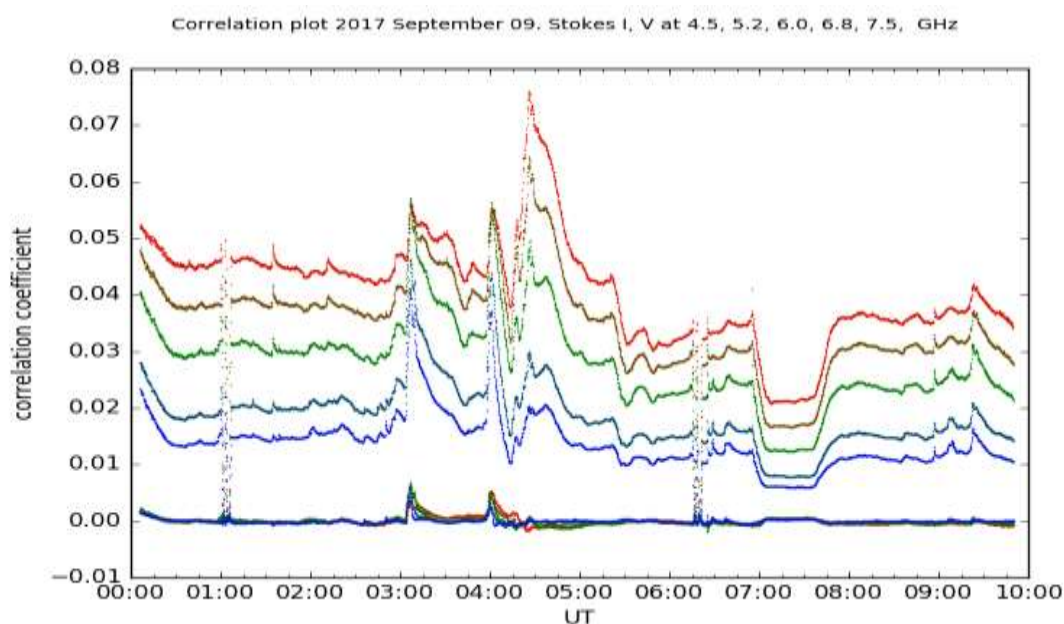


Рис. 155. Пример корреляционных кривых со слабыми транзистентными уярчаниями и отрицательными всплесками

4.3.2. Диагностика возмущений магнитосферы и ионосферы Земли

Внезапные возмущения космической погоды, приводящие к мощным рассеянным сигналам на установках радиолокации, радиосвязи и радиозондирования, требуют развития систем диагностики подобных помех и изучения степени их влияния на радиоаппаратуру. В ИСЗФ СО РАН недавно введен в режим непрерывных наблюдений импульсный дека-

метровый загоризонтный радар ЕКВ в Обсерватории «Арти», не имеющий аналогов в России и позволяющий регистрировать почти все проявления космической погоды в ионосфере Земли в секторе обзора 50° к северу от Екатеринбурга [4]. Пространственное и временное разрешение радара составляет соответственно 15–45 км и 2 мин. Частотный диапазон 8–20 МГц обеспечивает работу радара в режиме загоризонтного радиолокатора, а пиковая импульсная мощность 10 кВт позволяет работать в диапазоне дальностей до 3500–4500 км.

На сайте http://bug.istp/data_hall/ представляются в режиме online мощность рассеянного сигнала в координатах расстояние—время (рис. 156) и данные о радиоавторах — областях обратного рассеяния в КВ-диапазоне (рис. 157). Предложен индекс, равный отношению площади, описывающий интегрально возмущенность ионосферы и опасности ухудшения радиосвязи. Важную информацию об условиях плазмы в ионосфере Земли дают наблюдения следов метеоров.

Применение КВ-сигналов с линейной модуляцией частоты (ЛЧМ) в ионосферных исследованиях известно давно. Современная элементная база позволила сотрудникам ИСЗФ совместно с ФГУП ОНИИП (Омск) создать ЛЧМ-ионозонд, на котором реализуются возможности параллельной регистрации сигналов вертикального, наклонного и возвратно-наклонного зондирования ионосферы при высокой электромагнитной совместимости и низком энергопотреблении [5]. Многофункциональный ЛЧМ-ионозонд может являться базовым элементом системы мониторинга состояния ионосферы и каналов связи на территории России.

В настоящее время в восточном регионе России создана сеть, оснащенная оборудованием, разработанным в ИСЗФ СО РАН и ФГУП ОНИИП, для непрерывного мониторинга в режимах ВЗ и НЗ. Четыре пункта излучения (Хабаровск, Магадан, Норильск и Усолье-Сибирское) и три точки приема (Норильск, Омск и п. Торы, Бурятия) обеспечивают регистрацию НЗ-сигналов на девяти трассах протяженностью от 120 до 4400 км.

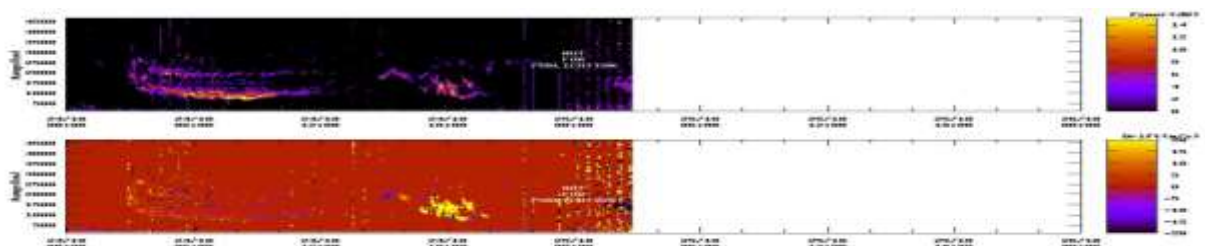


Рис. 156. Мощность рассеянного сигнала (дБ) и скорость ионосферных неоднородностей (м/с) по данным радара ЕКВ как функция времени и дальности

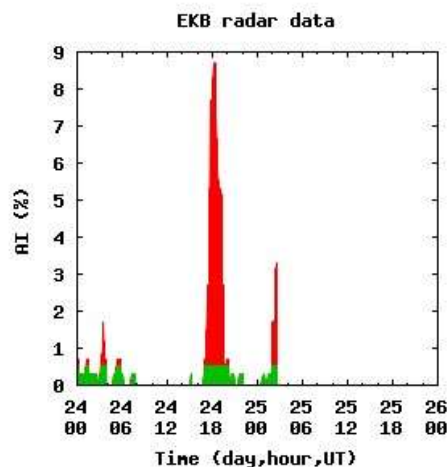


Рис. 157. Относительная площадь радиоавторы в процентах в секторе обзора радара ЕКВ, занимаемая радиоавторой. Красным выделены значения выше 0.5 %

Важной составляющей мониторинга возмущений космической погоды являются наблюдения вариаций магнитного поля Земли в диапазоне частот 0–300 Гц. Обсерватории ИСЗФ участвуют в международной программе INTERMAGNET — глобальной сети обсерваторий (<http://www.intermagnet.org/>), в которой наблюдения проводятся на стандартизированном цифровом оборудовании в реальном времени.

4.3.3. Некоторые результаты по прогнозированию и диагностике возмущений магнитосферы и ионосферы Земли

Ввиду отсутствия в настоящее время возможностей наблюдения магнитных полей непосредственно в короне практически единственным источником разнообразных моделей количественного расчета параметров гелиосферы являются измеряемые в фотосферных линиях ежедневные магнитограммы и получаемые на их основе синоптические карты. При этом оказывается, что результаты прогноза, в частности, скорости солнечного ветра на орбите Земли и положения гелиосферного токового слоя существенно зависят не только от выбранной модели расчетов, но и от исходного материала, поскольку магнитограммы различных инструментов (а часто и наблюдения в разных линиях на одном и том же телескопе) хотя и похожи морфологически, но могут значительно различаться при подробном количественном анализе. Детальное рассмотрение этого аспекта проблемы космической погоды выполнено в работе [5].

В работе [6] анализируются соотношения между различными комбинациями максимумов потоков и флюенсов солнечных микроволновых всплесков, записанных радиополариметрами в Нобеяме на частоте 35 ГГц в 1990–2015 гг., и соответствующими параметрами протонных возрастаний с энергиями выше 100 МэВ, превышавших 0.1 rfu, зарегистрированных в околоземном пространстве мониторами GOES. Установлено, что наиболее высока корреляция между потоками протонов и микроволнового излучения. Этот факт отражает зависимость полного числа протонов от общей продолжительности процесса их ускорения. В событиях с мощными вспышками коэффициенты корреляции флюенсов протонов с потоками микроволнового и мягкого рентгеновского излучения выше, чем со скоростями КВМ. Показано, что вероятность протонного возрастания прямо зависит от максимума потока и длительности микроволнового всплеска, что может быть использовано для диагностики протонных возрастаний по данным мониторинга микроволнового излучения.

Обзор исследований динамики релятивистских электронов в области геосинхронной орбиты дан в работе [7]. Перечислены физические процессы, приводящие к ускорению электронов, заполняющих внешний радиационный пояс. Являясь одним из факторов космической погоды, потоки высокоэнергичных электронов представляют серьезную угрозу для функционирования спутниковой аппаратуры. Подчеркнута необходимость усилий по разработке методов прогноза обстановки в этой области магнитосферы, перечислены возможные предикторы и дана их классификация. Приведен пример прогностической модели для предсказания потока релятивистских электронов с заблаговременностью 1–2 сут. Обсуждаются некоторые вопросы практической организации прогноза.

В работе [3] проведен обзор влияния факторов космической погоды на работу радиосредств. Обзор основан на работах, монографиях и стратегических научных планах исследования космической погоды последних лет. Основное внимание уделено влиянию ионосферных процессов, обусловленных космической погодой, на распространение радиоволн, в основном коротких. Приведены некоторые примеры такого влияния на основе данных радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН на 2012–2016 гг.: ослабление сигналов возвратно-наклонного зондирования во время солнечных вспышек, эффекты перемещающихся ионосферных возмущений различных масштабов в сигналах возвратно-наклонного зондирования, эффекты магнитосферных волн в сигналах ионосферного рассеяния.

4.3.4. Список использованных источников

1. Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Кочанов А.А., Гречнев В.В., Губин А.В., Жданов Д.А., Иванов Е.Ф., Уралов А.М., Кашапова Л.К., Кузнецов А.А., Мешалкина Н.С., Сыч Р.А. Сибирский радиогелиограф: первые результаты // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 3–16. DOI: 10.12737/24347. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/15206/view> (дата обращения: 09.11.2017).
2. Лесовой С.В., Кобец В.С. Корреляционные кривые Сибирского радиогелиографа // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 17–21. DOI: 10.12737/23588. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/14651/view> (дата обращения: 13.11.2017).
3. Бернгардт О.И. Влияние факторов космической погоды на работу радиосредств // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 3. С. 40–60. DOI: 10.12737/szf-33201705. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/14107/view> (дата обращения: 14.11.2017).
4. Подлесный А.В., Брынько И.Г., Куркин В.И., Березовский В.А., Киселев А.М., Петухов Е.В. Многофункциональный ЛЧМ-ионозонд для мониторинга ионосферы // Гелиофизические иссл. 2013. Вып. 4. С. 24–31.
5. Демидов М.Л. О возможностях и проблемах наблюдений магнитных полей Солнца для прогноза космической погоды // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 22–33. DOI: 10.12737/23279. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/16142/view> (дата обращения: 10.11.2017).
6. Гречнев В.В., Киселев В.И., Мешалкина Н.С., Черток И.М. О корреляции околоземных протонных возрастных >100 МэВ с параметрами солнечных микроволновых всплесков // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3. № 3. С. 3–14. DOI: 10.12737/szf-33201701. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/13757/view> (дата обращения: 10.11.2017).
7. Потапов А.С. Релятивистские электроны внешнего радиационного пояса и методы их прогноза (обзор) // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 46–58. DOI: 10.12737/22210. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/13666/view> (дата обращения: 10.11.2017).

5. РАБОТА ОБСЕРВАТОРИЙ ИСЗФ СО РАН

5.1. 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), входящий в перечень уникальных установок Российской Федерации (рег. номер 01-29). Кроме того, БАО оснащена тремя хромосферными телескопами, оборудованными интерференционно-поляризационными фильтрами (ИПФ) на диагностически важные линии $\text{H}\alpha$ (λ 656.3 нм) и K CaII (λ 393.4 нм), а также Солнечным телескопом оперативных прогнозов нового поколения (СТОП-1), входящим в уникальную российскую сеть из трех идентичных инструментов для мониторинга солнечного магнетизма (два других телескопа расположены в Уссурийске и в Кисловодске).

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

Благодаря наблюдениям на инструментах обсерватории были получены основные экспериментальные данные для решения научных задач, поставленных в проектах про-

граммы фундаментальных исследований СО РАН, проектах РФФИ и РНФ, а также ФЦП «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией РФ на 2008–2015 гг.» и др. Продолжалось выполнение традиционных регулярных и оригинальных наблюдений, а также сопутствующих работ.

Был завершен капитальный ремонт БСВТ и выполнена его настройка для выполнения спектрополяриметрических наблюдений. Была модернизирована автоматическая система управления (АСУ) телескопом, изготовлено оборудование и программное обеспечение для контроля вакуума в трубе телескопа.

На БСВТ выполнены оптические наблюдения для исследования солнечных эмиссионных образований (Фирстова Н.М., Поляков В.И.). Основная программа наблюдений на БСВТ с использованием спектрографа — получение спектральных и фильтровых наблюдений солнечных вспышек, послевспышечных петель и других эмиссионных образований в оптическом диапазоне. Летом 2017 г. были продолжены эти наблюдения одновременно в двух водородных линиях $H\alpha$ и $H\beta$. Синхронно со спектрами регистрировалось изображение Солнца в свете, отраженном от зеркальной щели спектрографа. Объем наблюдательного материала, полученного на ПЗС-камере Princeton Instruments (изображение Солнца), составил ~ 100 МБ и ~ 2000 МБ — на камере FligraB (водородные спектры). В 2017 г. был завершен этап изучения послевспышечных петель, сопровождавших лимбовую вспышку балла M7.7 типа «Масуда» (Фирстова М.Н., Поляков В.И. // Письма в Астрономический журнал. 2017. Т. 43, № 11. С. 845–856). На основании анализа профилей водородных линий определены термодинамические параметры: электронная концентрация 10^{11} см^{-3} и $T=1.5 \times 10^4 \text{ К}$. Сравнение наблюдений $H\alpha$ -петель с данными *Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager* (RHESSI) и *Solar Dynamics Observatory/Atmospheric Imaging Assembly* (SDO/AIA) позволяет провести пространственное сопоставление горячих и холодных петель (рис. 158) и получить весь сценарий развития вспышечных петель. Сделана оценка скорости подъема аркады петель ($\sim 3.5 \text{ км/с}$) и разности высот между $H\alpha$ -петлями и корональными петлями (в $94 \text{ \AA}$), которая составляет $\sim 2 \times 10^4 \text{ км}$.

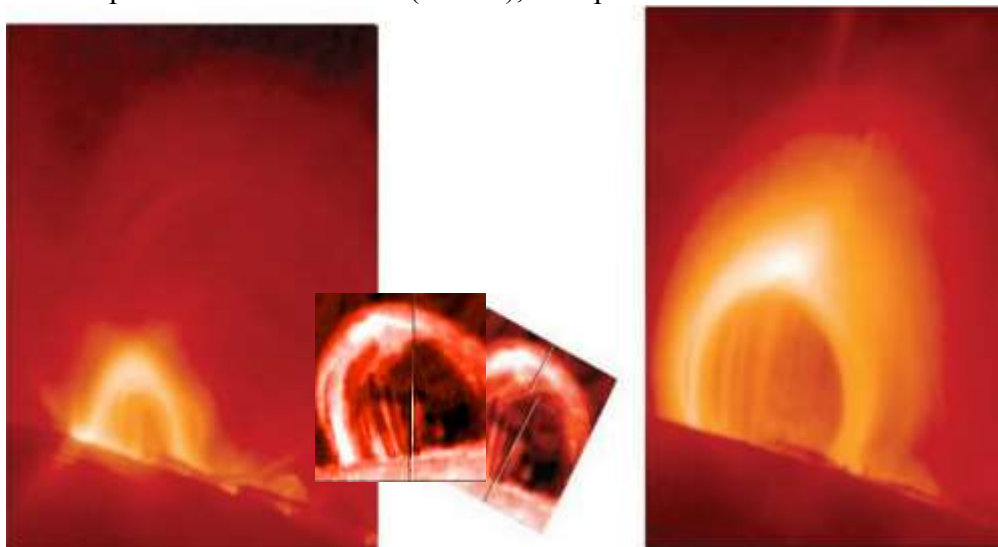


Рис. 158. Сравнение изображений петель в линии $94 \text{ \AA}$ по данным SDO/AIA (левый рисунок — в 05:25:27 UT, правый — в 08:02:03 UT) и в линии $H\alpha$ на щели спектрографа БСВТ в 06:55:56 UT

Выполнялся мониторинг солнечной активности на хромосферных телескопах. В 2017 г. выполнены регулярные наблюдения хромосферы Солнца (полный диск) в линии К Са II 393.4 нм. (А.А. Жданов, А.А. Головкин). В течение 10 дней наблюдений получено 90 изображений. Изображения в стандартизированной форме опубликованы на сайте Института (А.И. Хлыстова). С апреля 2017 г. телескоп демонтирован, производится ремонт и реконструкция его оптической части. В летнее время выполнены квазирегулярные наблюдения хромосферы Солнца (полный диск) в линии $H\alpha$ 656.3 нм. В течение 57 дней получено

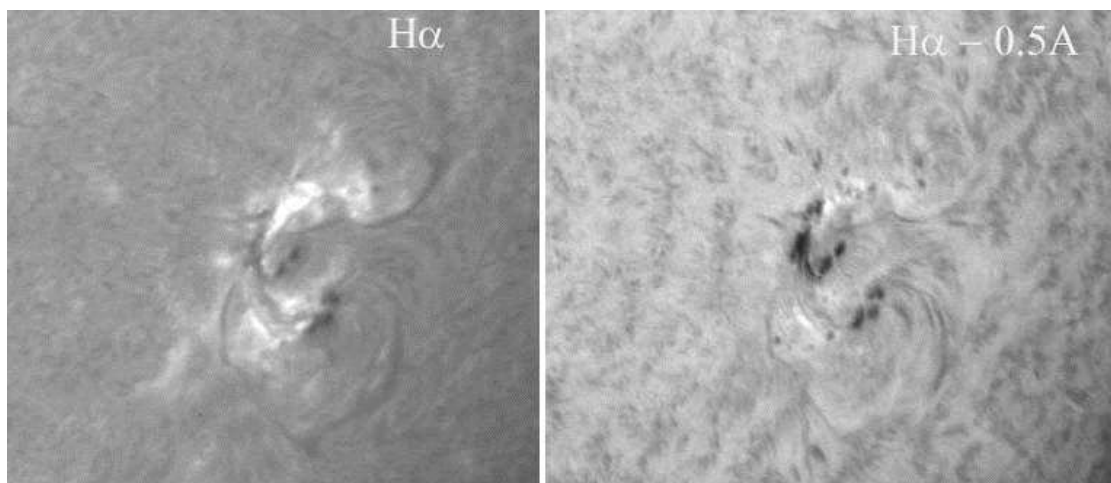


Рис. 159. Изображения солнечной вспышки в центре и крыле линии $H\alpha$, полученные 7 сентября 2017 г. с помощью хромосферного телескопа БАО ИСЗФ

24920 изображений, что на 28 % больше, чем в 2016 г. (А.А. Головки, А.А. Жданов, А.В. Овчаров, Е.В. Девятова). Уникальные данные о морфологии солнечных вспышек, самых мощных за последние 12 лет, получены 7–10 сентября (рис. 159).

На комплексе хромосферных телескопов выполнялись регулярные и оригинальные наблюдения солнечной хромосферы в линиях $H\alpha$ и $K\ CaII$ с помощью узкополосных ИПФ и ПЗС-камер. Были выполнены профилактические работы по модернизации механических узлов $H\alpha$ -телескопа, выполнена его покраска. В течение 80 дней наблюдений получено 720 изображений на кальциевом телескопе. На хромосферном телескопе в линии $H\alpha$ в течение 45 дней (часть наблюдательного сезона была занята профилактическими работами) получено 27843 изображений.

В июне завершился важный этап создания нового солнечного инструмента для полнотелескопных наблюдений солнечных магнитных полей: сотрудниками АО ЛОМО и ИСЗФ СО РАН был смонтирован и установлен в специально построенную астрономическую башню телескоп СОЛСИТ. Известно, что физика Солнца в последнее время приобретает все большее прикладное значение в контексте солнечно-земных связей (космическая погода и космический климат). При этом все большее внимание уделяется регулярным долгосрочным измерениям магнитных полей, охватывающим всю солнечную поверхность. Только обладая такой информацией, можно (и то при определенных предположениях) рассчитывать параметры гелиосферы, предсказывать геоэффективные явления. Созданию инструментов, способных обеспечивать такие наблюдения, в мире уделяется значительное внимание. Чтобы уменьшить отставание России в этой области по сравнению с передовыми странами, несколько лет назад в ИСЗФ СО РАН в сотрудничестве с АО ЛОМО, а также другими организациями были начаты работы по разработке и созданию нового солнечного инструмента, которому, исходя из его основных научных целей, было дано название СОЛСИТ — Солнечный синоптический телескоп. В новом телескопе впервые в отечественной практике солнечных наблюдений применяется внеосевая схема Мерсенна, узел промежуточной щели с принудительным контролируемым охлаждением, объектив-апохромат для видимой и ближней инфракрасной областей спектра. Для регистрации спектров используется компактный навесной спектрограф. В электрооптическом анализаторе поляризации установлены DKDP-кристаллы.

Продолжена работа по созданию архива наблюдательных данных БАО на электронных носителях. В 2015 г. создан архив фотогелиограмм за 1983–1999 гг. (4618 пластинок) и фототелескопных изображений в линии $H\alpha$ за 1981 г. (759 кадров).

В обсерватории выполняли экспериментальные работы также другие институты Сибирского отделения РАН: Институт оптики атмосферы (г. Томск), Институт земной коры, Лимнологический институт.

В 2017 г. в Байкальской астрофизической обсерватории проходила практику студента Московского университета. Проводились экскурсии для школьников, студентов и гостей Института.

Штат постоянного обслуживающего персонала обсерватории состоит из 17 человек. При выполнении специальных и рутинных программ наблюдений группа научных сотрудников, аспирантов и инженеров составляет от 10 до 3 человек, включая дежурных наблюдателей.

5.2. Саянская солнечная обсерватория



Рис. 160. Саянская солнечная обсерватория. На переднем плане представлены башни основных инструментов астрокомплекса — телескопа АЗТ-33ИК (левая башня) и телескопа АЗТ-33ВМ (правая башня)

Саянская солнечная обсерватория (ССО) расположена на расстоянии около 300 км от Иркутска в Республике Бурятия. Обсерватория является основной экспериментальной базой для выполнения программ наблюдений по солнечной физике, солнечно-земной физике и контролю космического пространства. Наблюдения ведутся: на станциях космических лучей круглосуточно, на солнечных оптических телескопах — в светлое время суток, на звездных оптических телескопах за астрофизическими объектами, космическими аппаратами и космическим мусором — в темное время суток.

В 2017 г. выполнены следующие программы наблюдений и экспериментальные работы:

1. На автоматизированном солнечном телескопе (АСТ) выполнен большой объем программ проблемно-ориентированных наблюдений. Целью программ наблюдений являлось получение экспериментальных данных для выполнения исследований структуры и динамики различных образований в солнечной атмосфере, колебаний и волн в фотосфере и хромосфере Солнца методами спектрополяриметрии.

2. В 2017 г. на телескопе АЗТ-33ИК получены фотометрические наблюдения оптического послесвечения космических гамма-всплесков (GRB) на площадках: ATLAS17cgg, G275697/Sw23, GRB141121A, GRB150518A, GRB161108A, GRB161219B, GRB170120, GRB170121B, GRB170206B, GRB170214A, GRB170227/iPTF17bub, GRB170227/iPTF17bue, GRB170317A, GRB170318A, GRB170325A, GRB170519A, GRB170531B, GRB170608X2, GRB170714A, GRB170728B, GRB171007A, GRB171010A, GRB170823-GWFUNC-17ure, GRB170825-M_OTJ033744.97+723159.0, PS17bek, PS17dp, PS17fl, PS17fn, PS17gl, PS17lk, PS17nv, PS17pv, PS17qk, PS17rc, PS17yt. Опубликованы циркуляры GCN: 20442, 20687, 20893, 20924, 20978, 21160, 21206. Продолжены мониторинговые фотометрические измерения микроквара Cyg X-1 в полосах BVRIJH (7 ночей) и квазара 3C273 (4 ночи). Получены фотометрические наблюдения оптического транзита Gaia16aeu (3 ночи).

На модернизированном телескопе АЗТ-14А проводились регулярные траекторные наблюдения высокоорбитальных космических объектов (КО) в интересах системы контроля космического пространства. В течение 223 ночей наблюдений было выполнено 2015 проводок по 1069 каталогизированным высокоапогейным КО, а также 47 проводок по некаталогизированным КО. Общее число отдельных измерений — 51225. Измерено 688 объектов космического мусора без данных ТЛЕ.

На телескопе АЗТ-33ВМ в 2017 г. проведено пять сеансов поисковых наблюдений астероидов, в которых было выявлено 169 подвижных относительно звезд объектов. Все данные по обнаруженным объектам были переданы в Центр малых планет. Данные по 74 астероидам и одной комете опубликованы в *Minor Planet Circular* (MPS_20170205, MPS_20170212, MPS_20170305, MPS_20170312, MPS_20170319, MPS_20170402, MPS_20170416, MPS_20170521, MPS_20170924, MPS_20171005, MPS_20171015) Центра малых планет. Четыре астероида (2017 DO119, 2017 DP119, 2017 DQ119, 2017 DR119) были признаны открытыми в Саянской солнечной обсерватории (код обсерватории С48).

В течение 2017 г. в рамках информационного обеспечения автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП) и проекта программы президиума РАН № 31 на телескопах АЗТ-33ИК и АЗТ-33ВМ выполнялись работы по наблюдению искусственных космических объектов: фотометрические и координатные измерения космических аппаратов (КА) и космического мусора, контроль потенциально опасных сближений КА, контроль фрагментов КА. На телескопе АЗТ-33ВМ проводились также обзорные наблюдения с целью обнаружения некаталогизированных объектов. Проведено наблюдение трех нештатных ситуаций, связанных с разрушением КА «Телком-1» (№ NORAD 25880), разгонного блока «Бриз-М» (№ NORAD 42935) и разгонного блока «Бриз-М» (№ NORAD 42943). Получены координатные и фотометрические данные (кривые блеска) по родительским телам и фрагментам разрушенных КА. Общее количество наблюдений составило:

Наблюдения на телескопе АЗТ-33ИК:

- количество наблюдательных ночей — 156;
- количество наблюдавшихся объектов — 81;
- количество проводок — 921.

Наблюдения на телескопе АЗТ-33ВМ:

- количество наблюдательных ночей — 98;
- количество наблюдавшихся объектов — 237;
- количество проводок — 823 (из них 94 проводки относятся к некаталогизированным объектам).

3. Ведется непрерывная регистрация вариаций космических лучей и атмосферного давления с минутным и часовым разрешением. Информация со станций космических лучей «Иркутск-2» и «Иркутск-3» передается в режиме реального времени в ИСЗФ СО РАН, Мировой центр данных MCD и в международную базу данных NMDB. Данные наблюдений и экспериментов, выполненных в Саянской солнечной обсерватории в 2017 г., служили основой для выполнения научно-исследовательских работ по следующим программам:

- «Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей»,
- «Космические лучи в гелиосферных процессах по наземным и стратосферным наблюдениям».

4. На телескопе СТОП выполнены следующие наблюдения в 2017 г.:

Количество дней	70	
	Количество измерений	Количество часов
Измерения магнитного поля Солнца как звезды	66	22
Измерения слабых крупномасштабных магнитных полей	30	45

5. В обсерватории работали сотрудники Института космических исследований РАН, Специальной астрофизической обсерватории РАН.

Совместно с учеными из Германии, Нидерландов, Китая, Монголии выполняются научные проекты и совместные наблюдения в Саянской солнечной обсерватории. В рамках международной Европейской организации солнечных обсерваторий (JOSO) осуществляется обмен данными, выполняются комплексные наблюдения Солнца по совместным программам.

Регулярно проводятся экскурсии для школьников и абитуриентов.

В 2017 г. в ССО работали 30 научных 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.

Было проведено 52 экскурсии. Лекторы: с.н.с. Караваев Ю.С., техник Школьников Е., зав. ССО Луковниковой А.А., н.с. Пуляев В.А., с.н.с. Турова И.П., зам. директор Демидова М.Л., зав. лаб. Еселевич М.В., гл. конструктор Тергоев В.И., вед. инженер Перетолчин Г.В., гл. специалист Рудаков А.Г.

5.3. Радиоастрофизическая обсерватория

Радиоастрофизическая обсерватория (РАО) ИСЗФ СО РАН расположена в урочище Бадары Тункинского района Республики Бурятия. Основными инструментами обсерватории являются: уникальный Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ) и Сибирский многоволновый радиогелиограф (СРГ). Оба инструмента работают независимо и позволяют получать двумерные радиоизображения Солнца в течение всего светового дня круглый год, независимо от погодных условий.



Рис. 161. Общий вид Радиоастрофизической обсерватории



Рис. 162. Крестообразная антенная решетка ССРТ и СРГ. Рядом со зданием расположены спектрополяриметры

Таблица 13. Основные параметры Сибирского радиогелиографа

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

В 2017 г. произведена отладка и настройка приемной системы (рис. 162), что позволило получать двумерные изображения Солнца в диапазоне 4–8 ГГц в автоматическом режиме (рис. 163). Данные доступны онлайн на сайте <http://badary.iszf.irk.ru>.

В обсерватории также работает комплекс спектрополяриметров с общим диапазоном от 0.05 до 24 ГГц, что позволяет наблюдать динамические спектры быстропротекающих процессов в солнечной короне (рис. 164).

Одна из особенностей радиогелиографа — возможность получения корреляционного потока со сверхвысокой чувствительностью до 0.01 с.е.п., что является уникальной характеристикой радиотелескопа нового поколения (рис. 165).

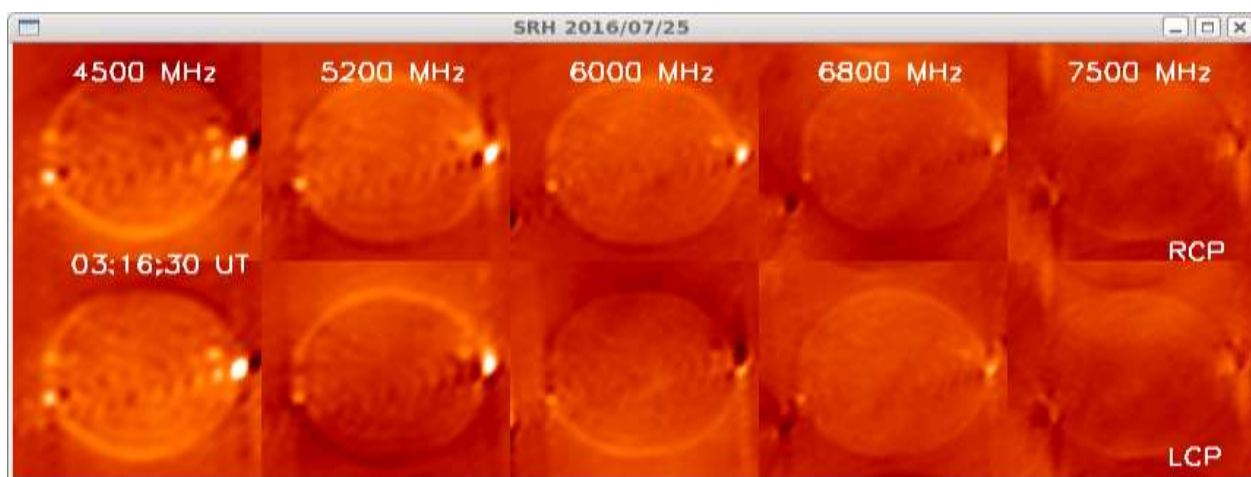


Рис. 163. Изображения Солнца, полученные на многоволновом радиогелиографе в автоматическом режиме 25 июля 2016 г.

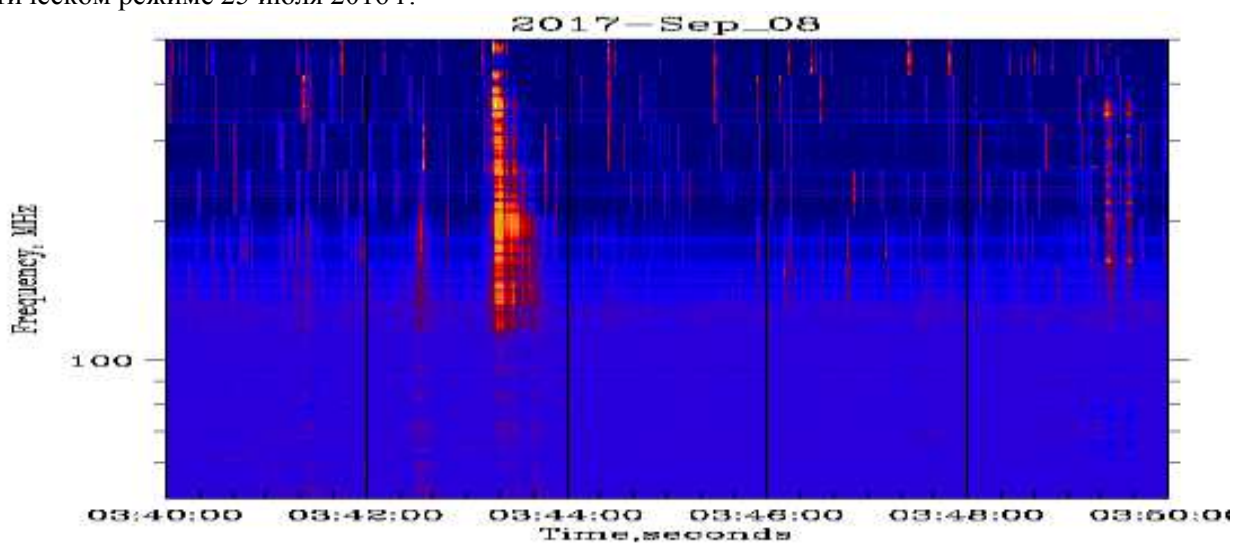


Рис. 164. Запись всплеска в диапазоне 0.05–0.5 ГГц, полученная на солнечном спектрополяриметре метрового диапазона (ССМД) 08 сентября 2017 г.

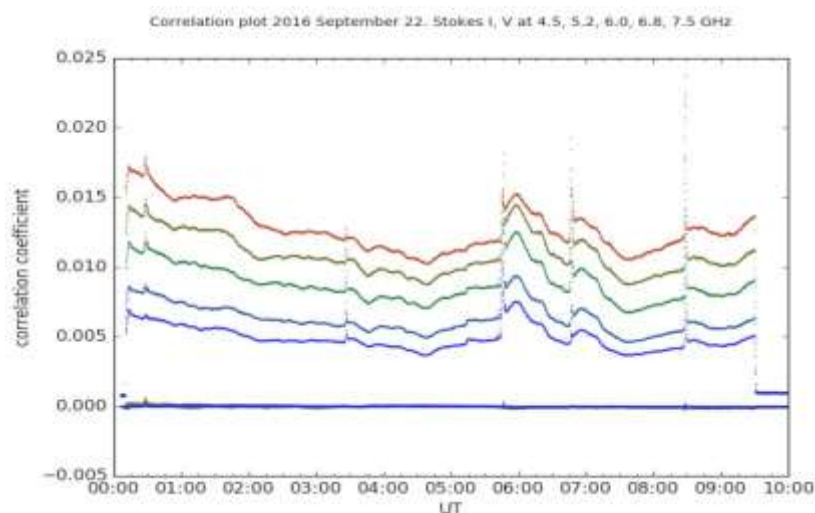


Рис. 165. Корреляционный поток, полученный с помощью CRГ

Наблюдения осуществляются регулярно в светлое время суток, результаты наблюдений хранятся как в исходном, так и в обработанном виде и доступны онлайн и по запросу пользователя.

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

5.4. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория



Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория располагает комплексом геофизических инструментов для наблюдения геомагнитного поля и параметров ионосферы. Фактически она включает в себя два научных геофизических стационара, находящихся на территории Иркутской области (п. Патроны, д. Узур), и две станции — в Красноярском крае (г. Норильск) и в Бурятии (с. Монды). Эти обсерватории проводят круглосуточный круглогодичный мониторинг (рис. 166):

- параметров геомагнитного поля Земли (МПЗ) в различных диапазонах частот;
- параметров ионосферы в средних и авроральных широтах;
- параметров атмосферного электричества;
- параметров ПЭС по данным геостационарных спутников;
- параметров инфразвука;
- светимости ночного неба в средних широтах;
- сейсмической активности (аппаратура БНЦ).

Координаты обсерваторий

№	Обсерватория	Географическая широта	Географическая долгота
1	МО «Иркутск» (п. Патроны)	52° 09' N	104° 28' E
2	БМТО «Узур»	53° 19' N	107° 44' E
3	ст. «Торы» (ГФО)	51° 42' N	103° 00' E
4	ОРДА (Усолье-Сибирское)	52° 45' N	103° 38' E
5	КМИС (Норильск)	69° 21' N	88° 21' E
6	ст. «Исток»	70° 10' N	88° 00' E
7	ст. «Монды» (ССО)	51° 37' N	100° 54' E
8	ст. «Листвянка» (БАО)	51° 51' N	104° 52' E



Рис. 166. Расположение обсерваторий, производящих круглосуточный круглогодичный мониторинг околоземного космического пространства

Магнитная обсерватория «Иркутск» (МО «Иркутск») — одна из старейших в России, основана в 1887 г., расположена в п. Патроны на расстоянии 21 км от Иркутска.

МО «Иркутск» предназначена для экспериментального исследования магнитного поля Земли (МПЗ) путем непрерывной трехкомпонентной регистрации как его абсолютных значений, так и вариаций в частотном диапазоне от 0 до 1 Гц. Она оснащена стандартными и уникальными магнитометрическими инструментами, позволяющими обеспечивать получение данных по геомагнитному полю на уровне мировых стандартов. Архивы обсерватории хранят непрерывный ряд наблюдений с 1887 г.

МО «Иркутск» с 1996 г., первая в России, включена в мировую сеть магнитных обсерваторий Intermagnet.

В 2017 г. в обсерватории проводились непрерывные наблюдения за вариациями геомагнитного поля тремя сериями магнитометров:

- трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-018;
- трехкомпонентная станция «Кварц»;
- трехкомпонентная магнитовариационная станция NVS.

Ежедневно проводились абсолютные измерения:

- полного вектора МПЗ протонным оверхаузеровским магнитометром POS-1;
- склонения и наклонения компонент геомагнитного поля высококласным феррозондовым деклинометром-инклинометром MAG-001 фирмы «Бартингтон» (Англия) на теодолите фирмы «Цейсс».

Данные вариаций геомагнитного поля проходят следующие этапы получения и обработки:

1. Регистрация вариаций магнитного поля с 1-секундным разрешением: для магнитометров Lemi-018 и POS-1 — в цифровом виде, для кварцевых магнитометров «Кварц» и «МВС» — в аналоговом. Магнитометры расположены в Абсолютном и Вариационном павильонах на удалении 50 и 100 м от Технического павильона.

2. Передача данных в Технический павильон, оцифровка данных кварцевых магнитометров, формирование первичных файлов секундных значений.

3. Обнаружение и интерполяция сбоев секундных данных.

4. Формирование одномоментных данных с помощью фильтра Гаусса.
5. Сопоставление минутных вариаций и абсолютных значений, полученных по результатам абсолютных наблюдений на деклинометре-инклинометре. Определение базисных значений, получение абсолютных рядов наблюдений.
6. Формирование файлов данных для отправки в Intermagnet (http://www.intermagnet.org/TechnicalSoft_e.html) и на ftp-сервер ИСЗФ СО РАН.
7. Отправка файлов по адресу <ftp://ftp.iszf.irk.ru/magnit/tool3/>.
8. Отправка файлов с электронной почты Обсерватории patrony@iszf.irk.ru на электронный адрес оперативного центра Intermagnet в Эдинбурге e_gin@mail.nmh.ac.uk. Получение проверяется на <http://app.geomag.bgs.ac.uk/> — должен появиться график.
9. В автоматическом режиме данные из последних файлов выставляются на сайте ИСЗФ СО РАН <http://magnit.iszf.irk.ru/index.php?page=patron1>.

Для получения оперативных данных о вариациях электромагнитного поля разработан программно-аппаратный комплекс. В состав комплекса входит два компьютера — компьютер регистрации (КР) и компьютер обработки и передачи данных (КОПД). Сигнал с трехкомпонентных кварцевых магнитометров поступает на АЦП и записывается при помощи программы GeoMag на КР в 15-минутный файл секундных значений. КР и КОПД соединены локальной сетью, а КОПД имеет канал доступа в Интернет. Раз в 15 мин программное обеспечение на КОПД копирует секундный файл с КР, сглаживает данные фильтром Гаусса до минутных значений и сохраняет их в 15-минутные файлы минутных вариаций. Обработанные минутные файлы передаются на ftp-сервер ИСЗФ.

Дополнительно в комнате 205 ИСЗФ СО РАН установлен сервер СУБД Firebird, куда из МО «Иркутск» также передаются 15-минутные порции минутных данных. Таким образом, в Институте накапливаются архивы оперативных минутных данных в виде файлов, и в виде СУБД.

Оперативные данные могут использоваться для различных задач мониторинга, экспресс-диагностики магнитного поля, оперативных прогнозов и т.п. Так, например, с 2017 г. данные оперативно отображаются на мониторе в фойе Института.

Результаты наблюдений в МО «Иркутск» использовались для выполнения исследований по следующим направлениям:

- уточнение и детализация моделей постоянного геомагнитного поля, слежение за его вековыми вариациями, мониторинг процессов, связанных с медленными изменениями величины и направления земного магнитного момента, отражением которых является перемещение магнитных полюсов Земли;
- привязка спутниковых магнитных измерений при построении моделей постоянного и переменного геомагнитного поля, при разработке численных моделей магнитосферы;
- разработка методов определения по наземным данным распределения проводимости, электрического потенциала и плотности трехмерных токов в ионосфере и магнитосфере Земли;
- исследование природы магнитных возмущений, магнитосферных бурь и суббурь, их проявлений в среднеширотной магнитосфере;
- обеспечение фоновой магнитной обстановки при исследованиях ионосферных процессов и условий распространения радиоволн;
- оперативный мониторинг состояния переменного магнитного поля Земли при решении задач прогнозирования космической погоды.

Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория «Узур» (БМТО «Узур») расположена на севере о. Ольхон оз. Байкал в 350 км от Иркутска.

В БМТО «Узур» в 2017 г. проводились непрерывные круглосуточные круглогодичные наблюдения низкочастотных горизонтальных электромагнитных полей на универсальной многокомпонентной станции Lemi-418, позволяющей измерять:

- вариации МПЗ в частотном диапазоне 0–1 Гц (трехкомпонентный феррозонд);

- три компоненты магнитных составляющих геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне 0.001–200.0 Гц (индукционный нанотесламетр);
- земные токи, три компоненты ($E_{с-ю}$, $E_{в-з}$, E_v) в частотном диапазоне 0.001–200 Гц. Кроме того, в БМТО установлены:
- приемник сигналов с навигационных спутников GPS/GLONAS для определения ПЭС (полного электронного содержания) в ионосфере и магнитосфере;
- электростатический флюксметр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы в приземном слое воздуха.
- приемник сейсмосигналов для исследования землетрясений в Байкальской рифтовой зоне (установлен Бурятским научным центром), в настоящее время работающий в штатном режиме наблюдений.

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

Непрерывные наблюдения в БМТО за геомагнитными пульсациями ведутся с 1967 г. Таким образом, имеются данные наблюдений за 51 год, а за предшествующие 5 лет — фрагментарные материалы регистрации. В архиве данных имеются уникальные материалы синхронных записей шести компонент низкочастотного электромагнитного поля, выполненные во время специальных экспериментов на льду оз. Байкал.

Необходимо отметить следующее. Этот стационар находится в зоне повышенной сейсмической активности, вдали от промышленных предприятий, дающих электромагнитные помехи при высокочувствительных и прецизионных наблюдениях за комплексом геоэлектрических явлений. Такие условия позволяют проводить уникальные высокоточные эксперименты по регистрации параметров окружающей среды, начиная с поверхности Земли и вплоть до орбиты геостационарных спутников.

Материалы, получаемые в этой обсерватории, в дальнейшем будут использоваться для решения целого ряда важных фундаментальных и прикладных научных задач, в том числе:

- изучение резонансных колебаний магнитосферы, наземная локация по данным одной станции положения резонансной магнитной оболочки;
- поиск электромагнитных предвестников землетрясений;
- наблюдение за распространяющимися в ионосфере электромагнитными сигналами, вызванными воздействием на ионосферу процессов в магнитосфере и литосфере;
- регистрация слабых электромагнитных излучений, генерируемых микро- и макропроцессами на границе магнитосферы при взаимодействии ее с солнечным ветром;
- регистрация электромагнитных сигналов при техногенном воздействии на магнитосферу и ионосферу.

Работа такого экспериментального комплекса в БМТО «Узур» свидетельствует о новом современном витке в развитии экспериментальной базы электромагнитных наблюдений не только для ИСЗФ СО РАН, но и для многих заинтересованных академических институтов и других ведомств.

Пункт «Монды» (51.62° N; 100.92° E.) расположен на территории ССО.

В «Мондах» установлен и функционирует современный цифровой индукционный нанотесламетр Lemi-30, который производит регистрацию геомагнитных пульсаций в диапазоне частот 0–30 Гц ($H_{в-з}$ и $H_{с-ю}$). В настоящее время этот прибор работает в круглосуточном режиме.

В пункте «Монды» установлен электростатический флюксметр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы в приземном слое воздуха.

Для приема сигналов со спутников GPS/ГЛОНАСС в «Мондах» установлен двухчастотный приемник Javad Delta-G3T, модифицированный для проведения амплитудных измерений. Приемник работает в комбинации с антенной RingAnt-G3T. Для монтажа антенны в горизонтальном положении использована специальная двухпластинная

конструкция, аналогичная установленным в других обсерваториях ИСЗФ СО РАН (Усолье, Листвянка, Торы, Патроны).

Приемник обеспечивает кодовые, фазовые и амплитудные измерения на частотах L1 и L2 одновременно по всем находящимся в зоне видимости спутникам GPS, ГЛОНАСС, GALILEO. Данные измерений поступают непосредственно в управляющий компьютер, где производится их запись и временное хранение. Передача данных из управляющего компьютера в центр сбора данных в ИСЗФ СО РАН производится с курьером.

Мониторинг параметров атмосферного электричества

Мониторинг параметров атмосферного электричества осуществляется на разработанном в Институте и здесь же изготовленном флюксметре. Сеть таких приборов установлена и функционирует в обсерваториях Института: МО «Иркутск», БМТО «Узур», ГФО, ССО. Этот прибор производит мониторинг электрического потенциала в приземном слое воздуха, а также электрического тока в атмосфере

Непрерывный круглогодичный мониторинг вариаций полного электронного содержания по данным сети разнесенных приемников сигналов ГНСС-систем

Полное электронное содержание проводится по данным геостационарных спутников GPS/ГЛОНАСС. Развертываемая в ИСЗФ СО РАН сеть ГНСС-приемников на текущий момент насчитывает девять станций, расположенных на полигонах Института (Иркутск, Усолье-Сибирское, Листвянка, Узур, Торы, Монды, Сарма, Максимиха, Норильск, Исток). Основу станций ГНСС-наблюдения составляют приемники фирмы Javad, позволяющие вести наблюдения со скважностью до 50 Гц, однако параметры каналов передачи данных ограничивают частоту наблюдений до 1 Гц. Типичное разрешение по времени в мировой практике составляет 30 с, поэтому получаемые нами данные могут рассматриваться как высокочастотные и представлять интерес для исследования мелкомасштабных структур в ионосфере. Приемники обеспечивают кодовые, фазовые и амплитудные измерения на частотах L1 и L2 одновременно по всем находящимся в зоне видимости спутникам GPS, ГЛОНАСС, GALILEO. Данные измерений поступают непосредственно в управляющий компьютер, где производится их запись и временное хранение. После минимальной обработки и сжатия данные передаются со станций на сервер в ИСЗФ СО РАН, где хранятся и предоставляются сотрудникам для исследований.

Регистрация инфразвука

Разработана структура файлового хранения инфразвуковых данных в виде некоторой базы данных по годам и дате записи. Структура и состав измерительного комплекса, исходя из метода измерения движущейся интерферометрической картины над поверхностью Земли, определяется как 3-элементный интерферометр.

Инфразвуковая станция ИСЗФ СО РАН предназначена для мониторинга инфразвуковых сигналов в атмосфере и расположена в 150 км от г. Иркутска на территории Геофизической обсерватории (Торы) ИСЗФ СО РАН (51° 42' N; 103° E). Станция оснащена инфразвуковой аппаратурой ИСЗФ СО РАН, которая установлена в трех выносных павильонах с апертурой 500 м и представлена блоками инфразвуковых микробарографов, разработанных в ИСЗФ СО РАН, устройством калибровки пистонфонного типа и системой шумоподавления в виде 2-дюймовой трубной линии длиной 60 м с 20 входными капиллярами. Инфразвуковая информация передается в центральный пункт для регистрации посредством кабельных линий. Регистрирующая часть сопряжена с 12-разрядным дифференциальным аналого-цифровым преобразователем. Основные характеристики инфразвуковых микробарографов с усилителем следующие: динамический диапазон 80 дБ; полоса частот 0.02–1 Гц; собственный шум 0.01 мкбар; чувствительность 0.05 В/мкбар.

Ионосферная станция «Иркутск»

В ИСЗФ СО РАН непрерывный мониторинг состояния ионосферы ведется с помощью цифровых ионозондов DPS-4, расположенных в Норильске (69° 21' N; 88° 21' E) и Иркутске (52° 09' N; 104° 28' E).

Ионозонд DPS-4 является одним из наиболее современных и распространенных средств радиозондирования ионосферы. Он состоит из основного блока, монитора, двух передающих антенн, четырех приемных антенн с поляризационными ключами, GPS-приемника и блока батарей резервного питания. Эта станция позволяет измерять: амплитуду (максимальное разрешение 3/4 дБ), фазу (максимальное разрешение 2 p/256 рад), задержку (максимальное разрешение 16.66 мкс), доплеровский сдвиг частоты (максимальное разрешение 0.024 Гц), вертикальный угол прихода, азимутальный угол прихода сигнала.

Диагностика ионосферы состоит из восстановления профиля электронной концентрации и измерения скорости дрейфа ионосферной плазмы. Восстановление профиля электронной концентрации осуществляется на основе обработки ионограмм. Измерение скорости дрейфа ионосферной плазмы основано на измерении характеристик сигналов, отраженных от ионосферных неоднородностей.

Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория ведет непрерывную круглогодичную круглосуточную регистрацию параметров МПЗ и его колебаний во всем диапазоне частот, мониторинг состояния ионосферы — как в средних широтах, так и в авроральной зоне. Эти данные используются в большинстве программ и проектов, ведущихся в Институте, в том числе в рамках международных научных программ при исследовании процессов в солнечно-магнитосферно-атмосферной системе, для мониторинга и прогноза космической погоды. Информация обсерватории передается в отечественные и международные центры сбора данных, используется для обмена.

Результаты наблюдений выставляются в сети Интернет на домашней интернет-странице ИСЗФ www.iszf.irk.ru и на сайтах других исследовательских центров (ИЗМИРАН — www.izmiran.rssi.ru, ААНИИ — www.aari.nw.ru, Intermagnet — www.intermagnet.ru, Токийского университета — <http://hper3.eps.s.u-tokyo.ac.jp> и других).

В 2017 г. практически все виды наблюдений велись в рамках отечественных и международных программ, весь комплекс обсерваторских наблюдений выполнялся в соответствии со следующими фундаментальными задачами:

- исследование процессов формирования космической погоды и разработка методов ее диагностики и прогнозирования;
- построение моделей передачи энергии от солнечных источников в магнитосферу и атмосферу Земли;
- изучение физических процессов воздействия Солнца и солнечного ветра на земной климат и метеосостояние;
- выявления и уточнения долговременных трендов и тенденций в солнечно-земных процессах (путем пополнения многолетних рядов наблюдений).

Всего в 2017 г. на стационарах комплексной магнитно-ионосферной обсерватории ИСЗФ СО РАН работало 18 научных сотрудников Института, 10 сотрудников других институтов, 5 представителей СО РАН, 3 представителя различных вузов (Бурятский госуниверситет, Байкальский госуниверситет экономики и права, Национальный научно-исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутский университет путей сообщения. На базе магнитной обсерватории «Иркутск» (п. Патроны) проводилось обучение аспирантов и магистрантов Института по теме «Постоянное магнитное поле Земли» (12 человек).

В заключение приведем фрагменты материалов наблюдений на стационарах КМИО, используемых при проведении научных исследований.

Синхронная регистрация геофизических явлений на авроральной станции «Исток» и среднеширотных станциях «Узур» и «Монды» позволяет проводить исследования возмущений одновременно в авроральных и средних широтах (рис. 167).

Отлично видно, что колебания на рис. 167 имеют практически одинаковые спектры (левая часть слайда).

Очень перспективны для изучения физических механизмов генерации различных типов геомагнитных пульсаций синхронные наблюдения геомагнитных пульсаций и сияний в раз-

личных линиях спектра (рис. 168), которые позволяют исследовать связь отдельных типов геомагнитных пульсаций с энергией осаждающихся частиц. Появление всплесков в геомагнитных пульсациях совпадает с пиками интенсивности в разных длинах волн. Это свидетельствует о различной энергии осаждающихся в атмосфере частиц полярных сияний.

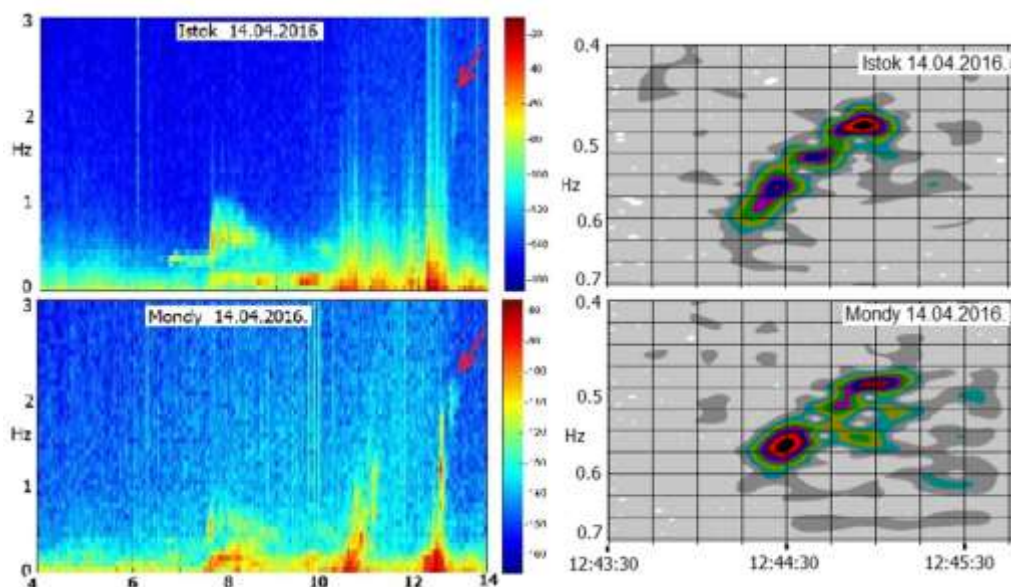


Рис. 167. Динамические спектры геомагнитных пульсаций по данным ст. «Исток» и «Монды»: слева — спектрограммы для возмущенного периода 14.04.2016; справа — динамические спектры всплеска пульсаций, наблюдаемых одновременно на ст. «Исток» и в «Монды» и рассчитанных по программе SVAN (спектральный и временной анализ)

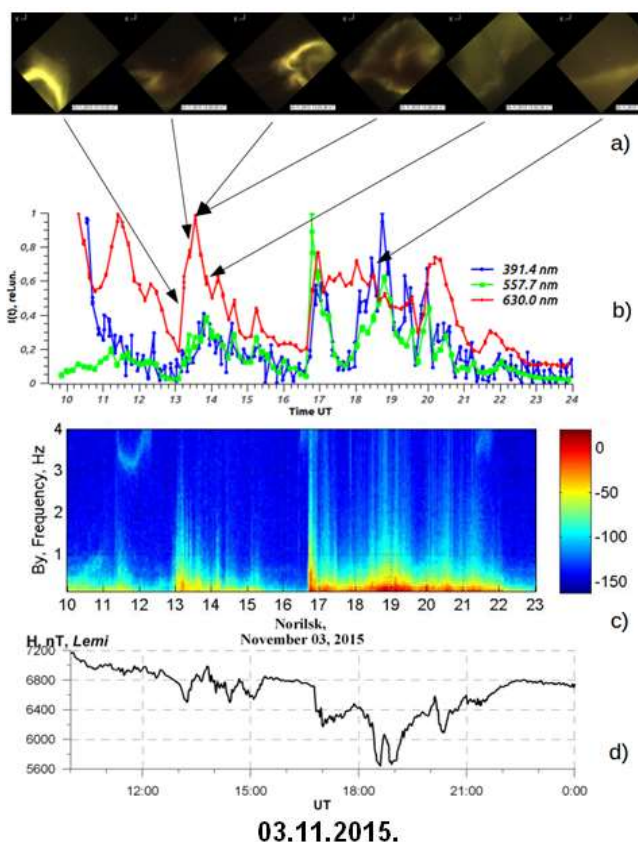


Рис. 168. Регистрация синхронных возмущений на ст. «Исток»: *a* — изображения сияний широкоугольной камерой; *b* — интенсивность сияний в различных длинах волн (спектрометр Shamrock-303i); *c* — динамические спектры геомагнитных вариаций; *d* — H-компонента магнитограммы (Норильск)

5.5. Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция



Основной задачей Норильской КМИС является проведение регулярных координированных наблюдений на комплексе радиофизических, магнитометрических, космофизических и оптических инструментов по программам фундаментальных исследований СО РАН, Президиума РАН, а также в рамках совместных научных исследований с организациями РАН, Минобрнауки, Роскосмоса и международных проектов. Полученные данные о характери-

стиках высокоширотной ионосферы и магнитосферы используются при уточнении и построении различных моделей околоземного космического пространства, исследованиях механизмов взаимодействия солнечного ветра с земной магнитосферой и для диагностики внутримангнитосферных и ионосферных процессов, оказывающих влияние на работу космической техники и на качество космических и ионосферных радиоканалов.

На КМИС выполняются:

- *наблюдательные программы* алертного характера во время экстремальных событий на Солнце, в магнитосфере и нижних слоях атмосферы с представлением информации на сайты Института и обсерваторий для использования другими институтами и организациями, работающими в области солнечно-земной физики;

- *специальные эксперименты* в рамках госзаказов и договоров в интересах различных ведомств.

На Норильской КМИС хранится в архиве непрерывный ряд данных с 1964 г. и в настоящее время продолжается непрерывный круглосуточный круглогодичный мониторинг следующих характеристик:

- вариаций МПЗ;
- абсолютных значений главных компонент МПЗ;
- параметров инфранизкочастотных колебаний магнитного поля (геомагнитные пульсации);
- вариаций потока нейтронов космических лучей на поверхности Земли;
- вариаций поглощения космического радишума в D-области ионосферы.

Кроме того, ведутся:

Вертикальное и наклонное зондирование ионосферы с регистрацией:

- высотно-частотных характеристик ионосферы;
- ионограмм с последующим расчетом профиля электронной концентрации.

Регистрация космических и галактических лучей.

В настоящее время на Норильской КМИС функционирует следующий комплекс геофизических инструментов:

- Две дублирующие магнитовариационные станции:
 - цифровая трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-008;
 - аналоговая станция «Кварц» на основе датчиков Боброва с выходом на ПК;
- Приборы для абсолютных измерений магнитного поля Земли:
 - оверхаузеровский протонный магнитометр POS-1 (полный вектор МПЗ);
 - феррозондовый деклинометр-инклинометр MAG-01H THEO 015 В (регистрация наклонения и склонения ЭМПЗ).
- Цифровой дигизонд DPS-4 (работает с 2002 г.) для вертикального зондирования ионосферы позволяет регистрировать следующие характеристики сигнала:
 - амплитуда (максимальное разрешение 3/4 дБ);
 - фаза (максимальное разрешение $2\pi/256$ рад);
 - задержка (максимальное разрешение 16.66 мкс);
 - доплеровский сдвиг частоты (максимальное разрешение 0.024 Гц);
 - вертикальный угол прихода;
 - азимутальный угол прихода;

- ЛЧМ-установка для наклонного зондирования ионосферы;
- Монитор солнечных и галактических космических частиц.

В 2017 г. на НорКМИС проводились ремонтные и профилактические работы на всем геофизическом оборудовании. Были проведены также ремонт и восстановление антенного хозяйства установленных ранее риометров и соединительного коаксиального кабеля и подготовлена регистрирующая аппаратура для риометрических наблюдений. Были проведены демонтаж, ремонт и восстановление передающей антенны Titanex DLP-22, замена окислившихся разъемов и антенного канатика в собирательной линии антенны. Был изготовлен выходной LC-фильтр 7-го порядка на диапазон 3.0–30.0 МГц и подключен между выходом РПДУ «КЕДР» и передающей антенной Titanex DLP-22. Были проведены ремонт и восстановление дистанционной системы запуска и остановки РПДУ «КЕДР». Осуществлена корректировка программного кода управляющей программы ЛЧМ-ионозонда. Проведены анализ и устранение помеходающего влияния излучения ЛЧМ-ионозонда на магнитометр Норильской КМИС. Осуществлены ремонт и настройка усилительных блоков МО РПДУ «Кедр» и порогов срабатывания защиты по току в МО РПДУ «Кедр». Были отремонтированы и заменены блоки УБС в РПДУ «Кедр».

В последние годы высокоточные наблюдения в оптическом диапазоне вариаций светимости ночного неба и наблюдения геомагнитных пульсаций индукционным нанотесламетром на Норильской КМИС стали невозможными из-за возросшего уровня оптических и электромагнитных помех от жилого массива Оганер. В связи с этим оптические и электромагнитные наблюдения были перенесены в пункт «Исток», расположенный на 100 км севернее Норильска (рис. 169).

Выносная точка «Исток» Норильской КМИС (100 км к северу от НорКМИС). В этом пункте в настоящее время функционирует геофизический комплекс, состоящий из следующих компонентов:

- 1) индукционный магнитометр Lemi-30 (частотный диапазон 0–30 Гц) для регистрации геомагнитных пульсаций;
- 2) станция спутникового мониторинга ионосферы на базе приемника сигналов ГЛОНАСС/GPS Javad-DELTA-G3T с антенной RingAnt-G3T и промышленного компьютера eBox-3300MX;
- 3) установка наклонного зондирования ионосферы (ЛЧМ-установка);
- 4) оптический комплекс ИСЗФ.

На оптическом комплексе были произведены ремонтно-профилактические работы. Произведена модернизация оптических наблюдений за полярными сияниями. Осенью 2017 г. на ст. «Исток» установлен новый оптический купол (рис. 170). В основном павильоне не представлялось возможным поддерживать купол в удовлетворительном для оптических измерений состоянии: в купольное помещение проникал влажный воздух (присутствие людей в соседних помещениях) и копоть от системы отопления (котел на дизельном топливе). В настоящий момент оптический купол установлен в отдельном неотапливаемом помещении, изолированном от человеческого присутствия.



Рис. 169. Аппаратурный модуль для наблюдения полярных сияний (выносная точка «Исток»)



Рис. 170. Новый оптический купол (справа) и оптические купола и темостабилизированный контейнер для оптической аппаратуры (слева)

Под куполом, в утепленном отсеке, размещен спектрограф, собранный на основе призматического монохроматора УМ-2 и ПЗС-камеры CSDU-423, а также отдельный термокожух (служит для поддержания рабочей температуры интерференционных фильтров) с ПЗС-камерами.

1. Широкоугольная обзорная камера CSDU-285-C с ПЗС-матрицей Sony CCD ICX285AQ, предназначенная для регистрации пространственной картины вариаций излучения ночной атмосферы в спектральном RGB-диапазоне. Поле зрения камеры $\sim 100^\circ$. Экспозиция 30 с.

2. Широкоугольная камера CSDU-423 с ПЗС-матрицей Sony CCD ICX423AL, предназначенная для исследования пространственных распределений вариаций интенсивности эмиссии $1\text{NGN}_2^+(0-1)$ (427.8 нм). Поле зрения камеры $\sim 70^\circ$. Экспозиция 60 с.

3. Широкоугольная камера «Видеоскан-11002» с ПЗС-матрицей KAI-11002, предназначенная для исследования пространственных распределений вариаций интенсивности эмиссии Na (589 нм). Поле зрения камеры $\sim 140^\circ$. Экспозиция 60 с.

4. Спектрограф «ПС-1», собранный на основе призматического монохроматора УМ-2 и ПЗС-камеры CSDU-423. Предназначен для регистрации спектрального распределения излучения ночного неба в диапазоне 400–700 нм. Направление визирования — зенит. Поле зрения $\sim 12^\circ$ вдоль входной щели (направление север—юг) и $\sim 5^\circ$ поперек щели. Экспозиция 30 с.

В 2016–2017 гг. на ст. «Исток» устанавливается дополнительно 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).

В 2017 г. для подготовки к началу наблюдений в рамках проекта PWING были проведены следующие ремонтные и профилактические работы:

Электроснабжение

Существующая система электроснабжения научной аппаратуры на ст. «Исток» была модернизирована с учетом опыта эксплуатации в последний период времени. Для оптимизации обслуживания, устранения наводимых ЭМ-помех энергообеспечивающим оборудованием аккумуляторные батареи (АКБ), зарядное устройство (ЗУ), инверторы-преобразователи МАП и дизель-генераторная установка (ДГУ) были перенесены в одно помещение.

Смонтирована и введена в работу новая группа аккумуляторных батарей, состоящая из 16 тяговых аккумуляторов глубокого заряда REGC2HXC, США (U.S. Battery), подобная действующей группе. Это дает возможность переходить с одной группы на другую в течение нескольких секунд и продолжать работать на АКБ еще не использованной группы. Время работы от АКБ увеличилось до 30 часов.

При достижении минимального уровня напряжения на обеих группах АКБ заводится ДГУ для зарядки аккумуляторов. Зарядка АКБ может производиться либо инверторами-преобразователями МАП, либо зарядным устройством для тяговых аккумуляторов Pro-HFD 24-120 S, причем зарядка обеих групп АКБ ведется одновременно.

Монтаж и ввод в работу научного оборудования по проекту «Полюс» в рамках международного проекта «Исследование динамических вариаций поведения частиц и волн во внутренней магнитосфере с использованием наблюдений сети наземных станций»

Смонтированы и введены в работу антенны риометра и КНЧ/ОНЧ-установки.

Характеристики КНЧ/ОНЧ-антенны:

- тип антенны: рамочная;
- высота антенны: 5.3 м;
- максимальная ветровая нагрузка: до 60 м/с;
- волновое сопротивление: до 50 Ом;
- вес антенны: около 52 кг.

Изготовлен термостабилизированный контейнер для установки телевизионной камеры всего неба. Телевизионная камера предназначена для регистрации полярных сияний и ночной атмосферной эмиссии при исследовании динамики авроральной плазмы, ионосферных возмущений и атмосферных гравитационных волн в рамках международного проекта «Исследование динамических вариаций поведения частиц и волн во внутренней магнитосфере с использованием наблюдений сети наземных станций». Полярные сияния и атмосферные эмиссии возникают на высотах 80–400 км.



Рис. 171. Аппаратура в термостабилизированном контейнере

Таким образом, двумерный снимок эмиссий отображает процессы, происходящие на высотах верхней атмосферы и ионосферы. Регистрируемые изображения неба записываются и хранятся на жестком диске. Объем информации около 200 Мбайт в день.

Смонтирована и подготовлена к работе регистрирующая часть оборудования для регистрации данных приемников риометра, ОНЧ/КНЧ-излучения и телевизионной камеры всего неба.

Основные технические характеристики риометра:

- тип приемника: LaJollaSciencesSOLIDSTATERIOMETER;
- приемная частота: 30 МГц;
- полоса пропускания в зависимости от уровня сигнала:
- по уровню –3 дБ: 250 кГц,
- по уровню –80 дБ: 1.0 МГц;
- временная константа: 0.25 с;

- промежуточная частота: 10.7 МГц;
- уровень отсечки: –100 дБ;
- входное сопротивление: 50 Ом;
- волновые потери: менее 1 дБ;
- подавление паразитных сигналов: 40 дБ/мин;
- калибровка ModelSSR: импульс 56 с каждый час от встроенного кварцевого генератора или мультивибратора (предусмотрены четыре уровня, один на каждый час, для обеспечения покрытия ожидаемого диапазона сигнала);
- выходной сигнал: от 0 до 5 В для цифрового интерфейса chartrecorder;
- диапазон рабочей температуры: от –25 до +30 °С;
- ширина диаграммы направленности антенны: около 60°;
- частота дискретизации АЦП: 64 Гц.

Основные технические характеристики ОНЧ/КНЧ-приемника:

- диапазон принимаемых частот: 0.1–20 кГц;
- скважность оцифровки: 40 кГц;
- рабочий диапазон температур: от –60 до +100 °С.

Основные технические характеристики телевизионной камеры всего неба:

- модель: KeoSentry 3” MultispectralImager;
- тип матрицы: Cooled-CCD camera Hamamatsu C11090-22B;
- размер матрицы: 1024×1024 пикселя (или 512×512 пикселя при сглаживании 2×2)
- спектральные фильтры: 1) 557.7 нм; 2) 630.0 нм; 3) 720–1000 нм (спектральная линия ОН); 4) 486.1 нм; 5) 572.5 нм (для регистрации фоновой атмосферной эмиссии);
- временное разрешение в зависимости от фильтра: фильтры 1, 2 и 4 — около 1.5 мин (90 с); фильтры 3, 5 — около 10 мин;
- ширина поля обзора: 180°;
- угловое разрешение: около 0.35°;
- пространственное разрешение: более 0.7 км на высоте 100 км;
- динамический диапазон матрицы: 13333:1;
- разрядность АЦП матрицы: 16 bit;
- экспозиция матрицы: от 20 мс до –1 мин;
- температура охлаждения матрицы: от 0 до –65 °С;
- рабочий диапазон температур: от 0 до +40 °С;
- потребляемый ток: не более 500 мА (камера и контроллер);
- потребляемая мощность: не более 55 Вт (камера и контроллер).

5.6. Геофизическая обсерватория



Геофизическая обсерватория расположена на расстоянии 150 км от г. Иркутска в Республике Бурятия вблизи с. Торы (103° Е, 51°42' N, высота над уровнем моря 530 м). В обсерватории проводится мониторинг структуры и динамики верхней и средней атмосферы радиофизическими и оптическими методами.

Экспериментальная база обсерватории включает 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 нм 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.

- Инфракрасный 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, предназначенная для регистрации быстрых вариаций (~5–100 мс) в излучении ночного неба на базе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) ЭПМ102Г-04-22С и ПЗС-камеры SDU-R259. 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 2017 г. проводились регулярные наблюдения на оптическом комплексе Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН, в том числе:

- наблюдения эмиссии OI 557.7 нм (максимум высоты высвечивания ~97 км) и 630 нм (~250 км), натрия NaI 589.0–589.6 нм (~92 км);

- наблюдения с помощью цветной камерой ФИЛИН-1Ц для контроля прозрачности атмосферы и регистрации интегральной светимости ночной атмосферы;

- патрульные спектрометрические наблюдения собственного излучения средней и верхней атмосферы в ближней ИК-области спектра.

Регистрация спектров проводится на инфракрасном спектрометре с высоким спектральным разрешением (ИКС-1). По полученным спектрам определены спектральные характеристики (интенсивность, температура) эмиссий молекул гидроксила (полоса 6-2, 834.0 нм) и молекулярного кислорода (полоса 0-1, 864.5 нм), возникающих на высотах мезосферы и нижней термосферы. Проведена обработка полученных экспериментальных данных, пополнен архив, ведущийся с 2008 г.

Полученные в 2017 г. данные оптических наблюдений (спектрограф САТИ-1М и ИКС-спектрограф) использовались для анализа текущего состояния и динамики верхней атмосферы на высотах мезосферы — нижней термосферы, при тестировании введенного в опытную эксплуатацию в ГФО ИСЗФ СО РАН оптического интерферометра Фабри—Перо [Васильев и др., 2017]. Данные предыдущих лет оптических наблюдений в ГФО использовались в работах [Михалев, 2017а; Михалев, 2017b].

В течение 2017 г. продолжались непрерывные наблюдения на радиофизическом комплексе с помощью ЛЧМ-ионозонда. Были получены данные со следующих наклонных трасс: Усолье—Торы, Норильск—Торы, Хабаровск—Торы, Магадан—Торы, Салехард—Торы, Диксон—Торы, Кипр—Торы. Были получены также данные вертикального зондирования с ЛЧМ-ионозонда-моностата ГФО ИСЗФ СО РАН. Проведена обработка полученных данных, пополнен архив данных.

В 2017 г. проводился непрерывный мониторинг инфразвуковых сигналов на инфразвуковой станции. Регистрация инфразвуковых сигналов осуществляется с помощью 3-позиционной станции, оснащенной микробарографами ИСЗФ. Разработанные в ИСЗФ микробарографы флажкового типа обладают высокой чувствительностью и низким уровнем собственных шумов и позволяют выделить как слабые когерентные инфразвуковые сигналы от удаленных источников (штормовые микробаромы, вхождение в атмосферу крупных метеоритов, инфразвук от землетрясений), так и сигналы техногенной природы от ближних и местных источников (полет реактивного самолета, промышленный взрыв и т. п.). Информация с выносных датчиков снимается посредством кабельных линий, а управление параметрами сбора информации и передача данных в Институт для обработки осуществляются по сети методом удаленного доступа в Интернет.

Данные наблюдений ГФО использовались при исследованиях:

1. Исследование особенностей сезонного хода атмосферной эмиссии [OI] 557.7 нм. По результатам многолетних наблюдений собственного излучения верхней атмосферы Земли в Восточной Сибири были исследованы особенности сезонного хода (СХ) атмосферной эмиссии атомарного кислорода [OI] 557.7 нм. Выявлено качественное подобие СХ эмиссии [OI] 557.7 нм, полученного по наблюдениям в Восточной Сибири в 1997–2016 гг., СХ этой эмиссии на некоторых среднеширотных станциях Северного полушария во второй половине прошлого века. Различие заключается в менее выраженном летнем максимуме и экстремально низком значении интенсивности эмиссии 557.7 нм в апреле.

Сопоставление СХ эмиссии [OI] 557.7 нм в 23-м и 24-м солнечных циклах показало большие среднемесячные значения интенсивности эмиссии 557.7 нм в летние и зимние месяцы в 23-м солнечном цикле, который характеризовался более высоким уровнем солнечной активности.

По данным наблюдений в период 1997–2016 г. значимые коэффициенты корреляции между среднемесячными значениями интенсивности эмиссии [OI] 557.7 нм и индексами солнечной активности $F_{10.7}$ получены только для осенних и зимних месяцев. Это согласуется с выводами работы о снижении зависимости интенсивности эмиссии [OI] 557.7 нм от солнечной активности в летние месяцы.

2. Исследование атмосферной эмиссии [OI] 557.7 нм в периоды экстремальных событий Эль-Ниньо/Ла-Ниньо в 23-м и 24-м солнечных циклах. Были проанализированы вариации излучения верхней атмосферы Земли в линии атомарного кислорода 557.7 нм и индекса ONI явления Эль-Ниньо — Южное колебание (ЭНЮК) в 1997–2017 гг.

В результате анализа вариаций среднемесячных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм ($I_{557.7}$) и индекса ONI, характеризующего Эль-Ниньо/Ла-Ниньо, выявлена статистически значимая корреляция ($K \approx 0.38–0.46$) между этими величинами, которая в ряде случаев нарушает прямую зависимость $I_{557.7}$ от уровня солнечной активности. Во время продолжительного эпизода Ла-Ниньо 1991–2001 гг. отмечалась депрессия $I_{557.7}$, а во время экстремального эпизода Эль-Ниньо 2015–2016 гг. — усиление $I_{557.7}$.

Показана связь $I_{557.7}$ с индексом ONI в предыдущие солнечные циклы 18–22-й на основе анализа среднегодовых значений $I_{557.7}$ и индекса ONI. Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод, что многолетние и межгодовые вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм могут быть следствием совместного влияния солнечной активности и изменений глобальной циркуляции атмосферы.

3. Исследование параметров верхней атмосферы Восточной Сибири при помощи интерферометра Фабри—Перо KEO Scientific «Arinae». Предложена модификация суще-

ствующего способа обработки данных интерферометра для получения доплеровского сдвига и уширения наблюдаемой линии, разделения интенсивности наблюдаемой линии и интенсивности фона.

Проведены наблюдения характеристик спектральных линий кислорода с длинами волн 557.7 и 630 нм. С использованием полученных характеристик определены поведение интенсивности линий и фона в течение ночи, а также поведение температуры и скорости ветра для различных высот в атмосфере Земли. Сделано сопоставление полученных результатов с данными, полученными при помощи других устройств, и результатами моделирования.

Выполнен анализ некоторых факторов и геофизических условий, потенциально влияющих на точность определения измеряемых величин интерферометром Фабри—Перо. Показано, что связь между наблюдаемой температурой T_{630} и интенсивностью гидроксильного излучения обуславливается процессами в верхней атмосфере, а не является ошибкой наблюдений или обработки результатов.

Отмечены характер и степень влияния фонового излучения, обусловленного атмосферной подсветкой рассеянного излучения от внешних естественных источников. Проведено сопоставление интенсивностей эмиссий 557.7 и 630 нм, температуры (по эмиссии 557.7 нм) с данными камеры всего неба (по эмиссии 630 нм), спектрометра САТИ-1 (эмиссии 557.7 и 630 нм) и инфракрасного спектрометра (вращательная температура гидроксидов OH (полоса (6-2))). Выполнен расчет и получены модельные значения (модели NRLMSISE-00, HWM14) кинетических температур и ветров для высот максимума эмиссий 557.7 и 630 нм в месте проведения наблюдений интерферометром Фабри—Перо.

Проведено сопоставление температуры, полученной по данным наблюдений эмиссии OH (6-2) и линии кислорода 557.7 нм. Получено существенное расхождение этих характеристик, несмотря на то, что источники излучения разнесены по высоте всего на ~10 км.

4. Сравнительный анализ атмосферной и ионосферной изменчивости по измерениям температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации N_mF2 . Проанализированы температура атмосферы на высотах мезопаузы (T_m), полученные по спектрометрическим наблюдениям эмиссии молекулы гидроксидов (полоса OH (6-2), 834.0 нм, высота максимума излучения ~87 км), и данные вертикального зондирования о максимуме электронной концентрации (N_mF2) за период 2008–2015 гг.

Были выявлены основные закономерности сезонного поведения изменчивости температуры атмосферы в области мезопаузы (T_m) и максимума электронной концентрации F-области ионосферы (N_mF2) над Восточной Сибирью. Общей особенностью поведения исследуемых параметров являются повышенные значения изменчивости T_m и N_mF2 в зимние месяцы по сравнению с летними. В сезонном ходе межсуточной атмосферной изменчивости вследствие активности планетарных волн наблюдаются хорошо выраженные максимумы в зимние месяцы, а также в периоды равноденствий. Возможной причиной повышенной изменчивости температуры области мезопаузы зимой могут быть внезапные стратосферные потепления, влияющие на температурный и динамический режим верхней атмосферы. Увеличение температурной изменчивости в периоды равноденствий может быть следствием сезонной перестройки атмосферной циркуляции. В сезонном ходе межсуточной ионосферной изменчивости также присутствуют хорошо выраженные максимумы в зимние месяцы и вблизи осеннего равноденствия, меньшее увеличение изменчивости N_mF2 наблюдается и в районе весеннего равноденствия.

Выполнен регрессионный анализ, и получены аналитические выражения, характеризующие зависимость изменчивости N_mF2 от уровня геомагнитной и солнечной активности. Выявлено, что чувствительность к геомагнитной/солнечной активности выше для дневной ионосферной изменчивости, чем для ночной. Сопоставление межгодовых вариаций атмосферной изменчивости с межгодовыми вариациями ионосферной изменчивости, а также с межгодовыми вариациями геомагнитной и солнечной активности не выявило сходства в поведении исследуемых параметров.

5. Проявление эффектов минорного и финального стратосферных потеплений на высотах области мезопаузы — нижней термосферы и F2-слоя ионосферы. Проведено исследование состояния нейтральной верхней атмосферы и ионосферы в регионе Восточной Сибири в периоды действия внезапного зимнего стратосферного потепления (ВСП) типа «mini» в начале февраля и финального стратосферного потепления в начале марта 2016 г.

В период действия ВСП в феврале 2016 г. наблюдались следующие эффекты. Рост интенсивностей эмиссий молекул OH и O₂ в 1.5–2 раза относительно невозмущенных условий. Понижение температуры атмосферы на высоте эмиссионного слоя OH (~87 км) до 188 K в период 5–6 февраля, когда температура стратосферы на 10 гПа (~32 км) достигла максимального значения. Значительное усиление изменчивости вращательной температуры OH, вызванной проявлением активности планетарных, приливных и внутренних гравитационных волн на высоте излучающего слоя. Во время действия финального стратосферного потепления в марте 2016 г. в период перестройки зональной циркуляции в начале марта наблюдались волнообразные возмущения с периодами 7–10 дней, а в период 14–17.03 — значительное, до ~300 %, усиление их интенсивностей.

Была проанализирована вариативность максимума электронной концентрации $\Delta N_m F2$ в различные временные периоды: межсуточная ($T > 24$ ч), в приливном диапазоне ($8 \text{ ч} \leq T \leq 24 \text{ ч}$) и в диапазоне ВГВ ($T < 8$ ч). Выявлено, что в период действия ВСП в феврале 2016 г., в первые три дня после максимума стратосферной температуры над Иркутском, ВСП сопровождалось сильными (до 77 %) положительными возмущениями $N_m F2$ в послеполуночные и ранние утренние часы, не связанные с геомагнитной активностью (рис. 172). Эти возмущения проявляются в основном в приливном диапазоне с максимумом амплитуды после полуночи и минимумом в вечернее время.

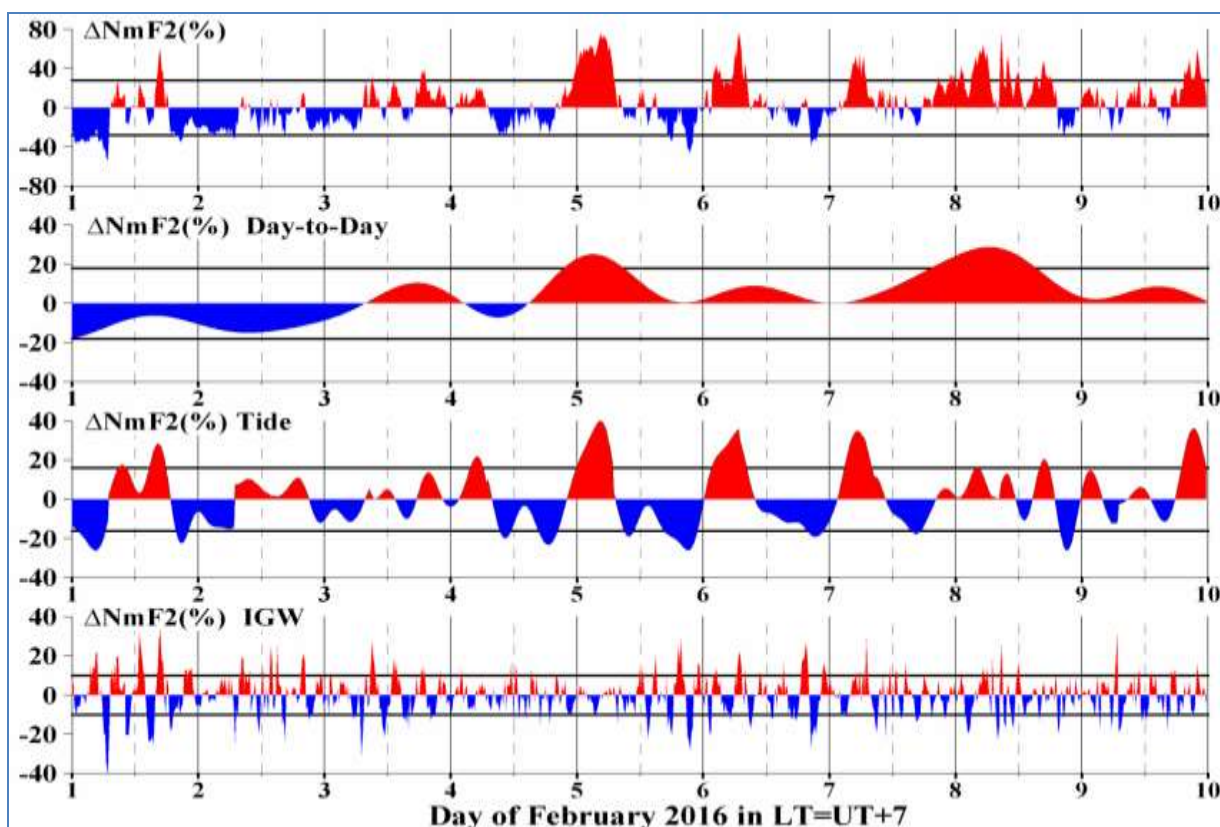


Рис. 172. Вариации возмущения максимума электронной концентрации в различные временные периоды: полной $\Delta N_m F2$, межсуточной ($\Delta N_m F2$ Day-to-Day), в приливном диапазоне ($\Delta N_m F2$ Tide) и в диапазоне ВГВ ($\Delta N_m F2$ IGW) (от верхней панели к нижней). Анализируемый период 1–9 февраля 2016 г. Черные сплошные линии отмечают среднеквадратичные значения $\Delta N_m F2$ для каждого диапазона периодов, усредненные для февраля за 2008–2015 гг.

В период действия финального стратосферного потепления в марте 2016 г. также наблюдались возмущения максимума электронной концентрации, схожие с наблюдаемыми в начале февраля, однако с заметно меньшей амплитудой возмущения (до 44 %).

5. Мониторинг инфразвуковых сигналов на инфразвуковой станции Геофизической обсерватории п. Торы позволил оценить уровень естественного атмосферного фона и выделить некоторые типы инфразвуковых сигналов, например, инфразвуковые колебания в сейсмоактивные периоды, инфразвуковой сигнал от космического грузового корабля Прогресс МС04, потерпевшего аварию над Республикой Тыва во время старта, а также зарегистрировать эффект от падения метеорита в районе Хакасии. Полученные данные легли в основу для нескольких научных статей.

5.7. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА)



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.

Задачами обсерватории являются проведение наблюдений на радиофизическом комплексе инструментов института и обслуживание и модернизация научного оборудования, входящего в состав обсерватории.

Основные научные задачи обсерватории:

- регулярные наблюдения вариаций параметров ионосферы для различных времен суток, сезонов, уровней солнечной и геомагнитной активностей;
- наблюдение мощных когерентных отражений во время геомагнитных возмущений;
- наблюдение распространения волновых возмущений, приходящих из полярной области ионосферы;
- экспериментальные исследования распространения сложных ВЧ-сигналов с учетом дисперсионных искажений, рассеяния на неоднородностях и шероховатостях земной поверхности;
- наблюдение космических объектов.

Экспериментальная база ОРДА включает в себя ряд установок:

- Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) входит в перечень уникальных установок национальной значимости (рег. № 01-28);
- многопозиционный ЛЧМ-ионозонд с передающими пунктами, размещенными на территории ОРДА (вертикального, возвратно-наклонного и наклонного зондирования), Норильской КМИС ИСЗФ СО РАН, в с. Забайкальское Хабаровского края и в п. Стекольный Магаданской обл. (наклонного зондирования) и приемными пунктами в ГФО ИСЗФ СО РАН (п. Торы Республика Бурятия, п. Арти, Свердловская область), а также на Норильской КМИС (г. Норильск, Красноярский край);
- доплеровский комплекс ИСЗФ СО РАН с приемными комплексами, размещенными в лабораторном корпусе Института, ГФО и КМИО.

В период с января по декабрь 2017 г. в обсерватории был проведен ряд измерений, как в штатном режиме, так и в экспериментальных режимах. Штатный режим подразумевает измерения, проводимые с целью получения параметров ионосферной плазмы, с использованием всех возможностей комплекса ИРНР (передающие и приемные устройства, накопление, обработка и хранение всего объема первичных данных). Помимо штатных наблюдений, в ОРДА проводился ряд экспериментов, предназначенных для отработки новых методик, модернизации аппаратуры и программного обеспечения:

- пассивный режим (фоновый риометр) с использованием нового широкополосного цифрового приемного устройства с улучшенным временным разрешением и возможно-

стями по сопровождению звездных радиоисточников (Солнце, Лебедь, Краб, Кассиопея);

- экспериментальный режим по зондированию ионосферы импульсом с ЛЧМ-заполнением;
- отладка, тестирование и накопление статистики в работах по созданию системы синхронизации ИРНР—РЛК.

Все периоды работы радара приведены в табл. 14.

Таблица 14. Эксперименты, проведенные на УСУ «ИРНР» в период 01.2017—12.2017.

Период	Кол-во суток	Эксперимент
с 7 февраля	—	запуск пассивных наблюдений с возможностью сопровождения звездных радиоисточников
17–23 апреля	7	штатные наблюдения НР
17 мая	—	начало сопровождения Солнца
13–16 июня	4	штатные наблюдения НР + тестирование оборудования + экспериментальные режимы
21 сентября	—	окончание сопровождения Солнца
остальное время до декабря 2017 г.	—	пассивные наблюдения с сопровождением звездных радиоисточников

Общее время наблюдений в активном режиме — 11 сут, общее время наблюдений в пассивном режиме — остальное время.

На протяжении 2017 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры ИРНР:

- проведена модернизация защитных ключей в ВУП ближнего (северного) терминала;
- в системе управления ИРНР усовершенствована работа с системой синхронизации от РЛК.

Многопозиционный ЛЧМ-зонд ИСЗФ СО РАН. Передающий комплекс

В период с 1 января 2017 г. по настоящее время на многопозиционном ЛЧМ-ионозонде «Ионозонд № 3» ОРДА (г. Усолье-Сибирское, 7) проводились непрерывные эксперименты по вертикальному и слабо наклонному зондированию ионосферы.

В течение всего 2017 года передающий пункт «Ионозонд № 3» ОРДА круглосуточно вел излучение на слабонаклонной трассе Иркутск–Торы (режим Мониторинг, мощность излучения 15 Вт).

Исключение составляют два дня, 2 февраля (ионозонд не работал почти сутки) и 14 июля — отключение ионозонда на 1 час, все остальное время «Ионозонд № 3» ОРДА круглосуточно вел излучение на слабонаклонной трассе Иркутск–Торы.

В 2017 г был изготовлен новый компактный вариант ЛЧМ-ионозонда (на основе микроконтроллера) и проведены его натурные испытания на слабонаклонной трассе Иркутск–Торы (режим Мониторинг, мощность излучения 15 Вт).

В течение 2017 г. на передающих комплексах многопозиционного ЛЧМ-ионозонда были проведены следующие мероприятия:

Норильская КМИС

Ремонт-восстановление антенны риометра и соединительного коаксиального кабеля Норильской КМИС, подготовка и проведение риометрических наблюдений;

Демонтаж, ремонт и восстановление передающей антенны Titanex DLP-22, замена окислившихся разъемов и замена антенного канатика в собирательной линии антенны.

Изготовление выходного LC-фильтра 7-порядка на диапазон 3.0–30.0 МГц и его подключение между выходом РПДУ «КЕДР» и передающей антенной Titanex DLP-22;

Ремонт и восстановление дистанционной системы запуска и остановки РПДУ

«КЕДР»;

Корректировка программного кода управляющей программы ЛЧМ-ионозонд;

Анализ и полное устранение помехового влияния излучения ЛЧМ-ионозонда на магнитометр Норильской КМИС;

Ремонт и настройка усилительных блоков «МО» РПДУ «КЕДР».

Ремонт и замена блока УБС РПДУ «КЕДР».

Приемный комплекс ЛЧМ-ионозонда

В течение 2017 г. на приемном пункте ГФО «ТОРЫ» продолжался прием ЛЧМ сигналов в мониторинговом режиме. Прием сигналов осуществлялся на наклонных трассах, входящих в институтскую сеть ЛЧМ ионозондов, а также на трассах сторонних сетей. Прием на наклонных трассах ведется с 5-минутным циклом.

Основными наклонными трассами являются трассы: Магадан–Иркутск (Торы), Хабаровск–Иркутск (Торы), Норильск–Иркутск (Торы). Частотный диапазон зондирования наклонных трасс составляет: 2.0–30.0 МГц при скорости сканирования 500 кГц/с. Сведения о работе приемного комплекса многопозиционного ЛЧМ-ионозонда представлены в таблице 15.

Таблица 15. Сведения о работе приемного комплекса многопозиционного ЛЧМ-ионозонда (на ноябрь 2017 г.)

№	Трасса	Количество сеансов	Количество сбоев	Количество ионограмм	Примечания (Коэффициент потерь), %
1	Магадан–Торы	86400	129	86271	0.15
2	Хабаровск–Торы	86400	10574	75826	12.24
3	Норильск–Торы	86400	5201	81199	6.02
4	Усолье–Торы	432000	645	431355	0.15
5	Моностат ВЗ	432000	37898	394102	8.77

Зарегистрированная информация доступна для внешнего пользования по запросу на сайт Института <http://iszf.irk.ru>.

6. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

6.1. Общие сведения

В течение 2017 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 2017 г. и согласно приоритетным направлениям Программы фундаментальных исследований государственных академий на 2013–2020 гг., утвержденной Распоряжением Правительства РФ № 2237-р от 3 декабря 2012 г.

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.П. Потехин).

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 — к.ф.-м.н. 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 — чл.-корр. РАН А.П. Потехин).

1.1.3. П.12.2.3. Исследование динамических процессов в магнитосфере и высокоширотной ионосфере Земли методом обратного рассеяния радиоволн коротковолнового диапазона (рег. номер АААА-А16-116120610101-0, руководитель проекта — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт).

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 и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач.

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

Проекты:

2.1.1. 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 — д.ф.-м.н. В.И. Куркин).

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.16.1.4. Мониторинг и исследование магнитосферно-ионосферных возмущений с использованием пространственно-разнесенных геофизических комплексов (рег. номер АААА-А16-116120610103-4, руководитель проекта — д.ф.-м.н. Р.А. Рахматулин).

2.1.5. 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).

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

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. Н.И. Кобанов, д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев).

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 — чл.-корр. РАН Е.Г. Бережко).

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. Программа Президиума РАН № 7 «Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд. Переходные и взрывные процессы в астрофизике» (координаторы — акад. Л.М. Зеленый, чл.-корр. Б.М. Шустов).

3.1. Проект «Фотометрические наблюдения и исследования нестационарных астрофизических объектов на телескопе АЗТ-33ИК» (рег. номер АААА-А16-116012210351-1, руководитель проекта — чл.-корр. РАН В.М. Григорьев).

3.2. Проект «Радиоастрономические исследования динамических процессов в солнечной короне» (рег. номер АААА-А16-116012210454-9, руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов).

3.3. Проект «Методы диагностики процессов солнечной активности и ее проявлений в ММП, магнитосфере и ионосфере Земли» (рег. номер АААА-А16-116012210452-5, руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев).

4. Программа Президиума РАН № 15 «Природные катастрофы и адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики» (координатор — акад. Н.П. Лаверов).

4.1. Проект «Исследование системы литосфера—атмосфера—ионосфера в экстремальных условиях» (рег. номер АААА-А16-116012210460-0, руководитель проекта — д.ф.-м.н. Н.П. Перевалова).

5. Программа Президиума РАН № 23 «Физика высоких энергий и нейтринная астрофизика» (координатор — акад. В.А. Рубаков).

5.1. Проект «Космические лучи в гелиосферных процессах по наземным и стратосферным наблюдениям» (рег. номер АААА-А16-116012210456-3, руководитель проекта — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов).

6. Программа Президиума РАН № 31 «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности. Фундаментальные исследования процессов горения и взрыва. Актуальные проблемы робототехники» (координаторы — акад. Ю.М. Михайлов, акад. В.А. Левин, акад. Ф.Л. Черноусько).

6.1. Проект «Фундаментальные основы мониторинга и контроля околоземного космического пространства в оптическом диапазоне» (рег. номер АААА-А16-116012210453-2, руководитель проекта — чл.-корр. РАН В.М. Григорьев).

6.2. Проект «Создание сегмента мониторинга уровня ионосферных помех в Азиатском регионе России, связанных с естественными неоднородностями полярной ионосферы» (рег. номер — АААА-А16-116012210455-6, руководитель проекта — чл.-корр. РАН А.П. Потехин).

7. В Институте выполнялись работы по грантам Президента Российской Федерации:

7.1. Ведущая научная школа НШ-6894.2016.5 «Экспериментальное и теоретическое исследование взаимосвязи динамических процессов в нижней и верхней атмосфере Земли», руководитель проекта — акад. Г.А. Жеребцов.

7.2. Грант Президента РФ МК-1097.2017.5 «Методы автоматической регистрации возмущений ионосферы, определения их параметров и источников по данным глобальной сети навигационных приемников», руководитель проекта — к.ф.-м.н. И.К. Едемский.

8. В Институте выполнялись работы по грантам Российского научного фонда:

8.1. № 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.

8.2. № 17-72-10076 «Комплексное исследование эволюции магнитозвуковых волн для решения задач МГД-сейсмологии солнечной короны», руководитель — к.ф.-м.н. А.Н. Афанасьев.

9. В Институте выполнялось 30 грантов РФФИ, из которых 10 грантов — по отделу физики и астрономии (2 молодежных гранта, 2 гранта — по соглашению РФФИ с зарубежными научными организациями) и 20 грантов — по отделу наук о Земле (5 молодежных грантов, 1 грант — по соглашению РФФИ — Иркутская область и 1 грант — по соглашению РФФИ с зарубежными научными организациями):

9.1. № 15-02-01089-а «Солнечные вспышки в микроволнах: от формирования токовых слоев до импульсной стадии», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

9.2. № 15-02-03717-а «Исследование процессов ускорения частиц в солнечных вспышках на основе уникальных наблюдений гамма-спектрометра «Конус-Винд» и Сибирского солнечного радиотелескопа», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

9.3. № 15-02-01077-а «Исследование возникновения и движения корональных выбросов массы и связанных с ними ударных волн по многоволновым данным», руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.Г. Файнштейн.

9.4. № 15-05-05387-а «Развитие методов обработки данных Иркутского радара некогерентного рассеяния для исследования среднеширотной внешней ионосферы», руководитель проекта — акад. Г.А. Жеребцов.

9.5. № 15-05-02313-а «Экспериментальное исследование условий распространения внутренних гравитационных волн в верхней атмосфере Земли по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Медведев.

9.6. № 15-05-05561-а «Модель магнитосферных суббурь с новыми данными техники инверсии магнитограмм», руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.В. Мишин.

9.7. № 15-05-05227-а «Исследование механизмов генерации волновых возмущений в средней атмосфере и эффектов этих волн в ионосфере», руководитель проекта — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская.

9.8. № 15-05-03946-а «Исследование статистических и динамических характеристик мелкомасштабных неоднородностей ионосферы по данным экспериментального комплекса ИСЗФ СО РАН», руководитель проекта — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.

9.9. № 16-32-00268-мол-а «Поиск наблюдательных проявлений альфвеновских волн в атмосфере солнечных факелов», руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.А. Челпанов.

9.10. № 16-32-00315-мол-а «Исследование вариаций магнитного поля, сопровождающих возникновение корональных выбросов массы, связанных с эрупцией волокна», руководитель проекта — к.ф.-м.н. Я.И. Егоров.

9.11. № 16-35-60018-мол-а-дк «Исследование комплексной структуры отклика ионосферы на события внезапных стратосферных потеплений в среднеширотном и арктическом регионах на основе данных навигационных систем GPS и ГЛОНАСС», руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич.

9.12. № 16-32-00788-мол-а «Изучение эффекта Доплера в слабостационарном радиоканале Земля—ионосфера с помощью метода нормальных волн», руководитель проекта — М.С. Пензин.

9.13. № 16-35-00027-мол-а «Исследование отклика ионосферы на одновременное воздействие различных источников в нейтральной атмосфере», руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич.

9.14. № 16-32-00051-мол-а «Методика определения ионосферных параметров по данным одиночных станций ГЛОНАСС/GPS», руководитель проекта — А.А. Мыльникова.

9.15. № 16-55-53003-ГФЕН-а «Особенности реакции ионосферы Восточно-Азиатского региона на геомагнитные возмущения», руководитель проекта — акад. Г.А. Жеребцов.

9.16. № 16-05-00254-а «Генерация азимутально-мелкомасштабных УНЧ-волн в земной магнитосфере высокоэнергичными частицами космической плазмы», руководитель проекта — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

9.17. № 16-05-00563-а «Исследование физических процессов формирования среднеширотных сияний в спокойных и возмущенных геомагнитных условиях», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Тащилин.

9.18. № 16-05-00631-а «Влияние мелкомасштабной турбулентности солнечного ветра на состояние и волновую активность магнитосферно-ионосферной системы», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

9.19. № 16-05-01006-а «Исследование тонкой структуры коротковолнового рассеянного сигнала по данным когерентного декаметрового радара», руководитель проекта — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

9.20. № 16-05-01087-а «Межсуточные вариации «Исследование структуры и динамики зимней полярной стратосферы и связь ее циркуляции с гравитационными приливами», руководитель проекта — к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев.

9.21. № 17-52-77005 «Динамические плазменные процессы в гелиосфере: от Солнца до Земли», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

9.22. № 17-05-00492-а «Исследование быстрых оптических явлений в атмосфере Земли», руководитель проекта — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев.

9.23. № 17-05-00192-а «Исследование взаимосвязи динамических процессов в нижней и верхней атмосфере Земли по данным спектрометрических и радиофизических наблюдений», руководитель проекта — к.ф.-м.н. И.В. Медведева.

9.24. № 17-02-00016-а «Глобальные максимумы солнечной и звездной активности», руководитель проекта — д.ф.-м.н. Л.Л. Кичатинов.

9.25. 17-05-20306 «Проект организации Второго генерального симпозиума VarSITI (VarSITI-2017)», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Медведев.

9.26. № 17-52-18050 Болг_а 2017 «Источники солнечных космических лучей: солнечные вспышки или выбросы корональной массы?», руководитель проекта — к.ф.-м.н. Л.К. Кашапова.

9.27. № 17-52-80064 БРИКС_а «Супервспышки на звездах и Солнце», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов.

9.28. № 17-302-50013_мол_нр 2017 «Исследование структуры и динамики крупномасштабных возмущений в верхней атмосфере Земли, в частности, в ионосфере, с помощью измерений в радио- и оптическом диапазоне длин волн», руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий.

9.29. № 17-32-50046_мол_нр_2017 «Прогноз 25-го цикла в терминах полного потока излучения Солнца», руководитель проекта — д.ф.-м.н. А.В. Мордвинов.

9.30. № 17-45-388072_р_а «Исследование быстрых изменений в ионосфере Прибайкальского региона и их связи с космическими и сейсмическими источниками», руководитель проекта — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

10. Выполнялись:

10.1. Работы по Госконтракту № 2017-155 от 15 мая 2017 г. с ФГКУ «В/Ч 68240».

10.2. Прикладные работы по 10 темам в рамках хозяйственных договоров.

6.2. Деятельность Ученого совета

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

В 2017 г. было проведено 12 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.

Научные доклады и сообщения, представленные на Ученом совете:

1. Научный доклад «Интерферометр Фабри-Перо КЕО Scientific Arinae, его возможности для регистрации параметров верхней атмосферы и некоторые результаты наблюдений», докладчик — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев.

2. Научный доклад «Ударные волны, возбуждаемые корональными выбросами массы», докладчик — д.ф.-м.н. В.Г. Еселевич.

8 и 9 ноября проходила Научная сессия по итогам научно-исследовательской работы по проектам Государственного задания 2017 г. Были заслушаны основные научные результаты по 13-ти базовым проектам и 7-ми проектам программ Президиума РАН. Были выдвинуты важнейшие результаты за 2017 г.

6.3. 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 № 2249-1351 от 02.11.2007 г. и его срок полномочий продлен приказом Рособнадзора Министерства образования и науки РФ №105нк от 11.04.2012 г.

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

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 2017 г. проведено 8 заседаний совета и защищены две кандидатские и одна докторская диссертации.

1. 20 июня 2017 г., Мыльникова Анна Александровна, «Восстановление абсолютного значения, пространственных градиентов и временной производной полного электронного содержания по данным GPS/ГЛОНАСС», специальность 01.04.03 — радиофизика.

2. 18 июля 2017 г., Криволуцкий Алексей Александрович, «Воздействие солнечных протонных вспышек на среднюю атмосферу Земли», специальность 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.

3. 14 ноября 2017 г., Михайлова Ольга Сергеевна, «Короткопериодные УНЧ-волны в многокомпонентной космической плазме», специальность 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.

6.4. Международное сотрудничество

В отчетном году состоялось 47 выездов (32 сотрудника) ИСЗФ СО РАН в 18 стран мира. Сотрудники Института приняли участие в 20 зарубежных научных мероприятиях (см. список зарубежных международных мероприятий), на которых представили 39 докладов: 4 приглашенных, 27 устных и 8 стендовых.

Список сотрудников Института, выезжавших в заграничные командировки

Страна	Сроки	Фамилия	Научная работа	Зарубежное международное мероприятие, тип доклада
Австрия	22.04–29.04	Ясюкевич Ю.В.		1 устный + 1 стендовый
	22.04–29.04	Ясюкевич А.С.		1 устный

Великобритания	21.09.15–31.03.18	Анфиногентов С.А.	+	
Венгрия	02.09–11.09	Колобов Д.Ю.		1 стендовый
	02.09–11.09	Хлыстова А.И.		1 стендовый
	02.09–11.09	Челпанов А.А.		1 стендовый
	02.09–11.09	Анфиногентов С.А.		1 устный
Германия	14.05–28.05	Медведева И.В.		2 устных
Греция	19.03–26.03	Луковникова А.А.		1 устный
	19.03–26.03	Кравцова М.В.		1 стендовый
	10.07–14.07	Кузнецов А.А.		1 устный
Испания	10.05–13.05, 14.11–16.11	Демидов М.Л.	+	
	04.09–08.09	Медведева И.В.		1 устный + 1 стендовый
	14.11–16.11	Колобов Д.Ю.	+	
	14.11–16.11	Олемской С.В.	+	
Италия	15.09–24.09	Кобец В.С.		1 устный
	15.09–24.09	Федотова А.Ю.		1 устный
Казахстан	13.12–19.12	Подлесный А.В.	+	
Канада	17.08–30.08	Пензин М.С.		1 устный
Китай	27.03–28.04, 27.09–27.10	Демидов М.Л.	+	
	13.05–19.05	Медведев А.В.		1 устный
	13.05–19.05	Сыч Р.А.		1 устный
	13.05–19.05	Васильев Р.В.		1 устный
	12.06–16.06	Мишин В.В.	+	
	09.07–16.07, 29.11–30.12	Леонович А.С.	+	1 приглашенный
	09.07–16.07, 29.11–30.12	Климушкин Д.Ю.	+	1 приглашенный
	15.09–30.09	Мешалкина Н.С.	+	
Монголия	19.07–23.07	Сыч Р. А.		1 устный
	19.07–23.07	Рахматулин Р.А.		2 устных
	19.07–23.07	Ковадло П.Г.		1 устный
	19.07–23.07	Подлесный А.В.		1 стендовый
	19.07–23.07	Язев С.А.		1 устный
США	19.06–24.06	Кашапова Л.К.		1 устный
Тайвань	13.11–17.11	Ратовский К.Г.		1 устный
	03.12–10.12	Мишин В.В.	+	
Франция	06.11–10.11	Кашапова Л.К.		1 устный + 1 стендовый
Чехия	01.10.2016– 30.09.2018	Муратова Н.О.	+	
	24.01–14.01	Едемский И.К.	+	
	13.11–16.11	Кашапова Л.К.		1 устный
Швейцария	07.10–16.10	Кузнецов А.А.		2 устных
ЮАР	27.08–04.09	Мышьяков И.И.		1 устный
	27.08–04.09	Анфиногентов С.А.		2 приглашенных
Япония	18.11–25.11	Пипин В.В.		1 устный

Загранкомандировки для совместной работы в рамках международных проектов

С 24 января по 14 февраля н.с. к.ф.-м.н. Едемский И.К. находился в Институте физики атмосферы Чешской академии наук (Чешская республика, г. Прага) на стажировке по программе COSPAR CBW Fellowship Program. В ходе стажировки были проведены сбор ин-

формации и обсуждение предполагаемых механизмов генерации локального возмущения ПЭС, наблюдавшегося 15 августа 2015 г. Были проведены также встречи с сотрудниками лаборатории исследования ионосферы и получены предварительные договоренности по проведению совместных работ. В рамках стажировки Едемский И.К. представил доклад об ИСЗФ СО РАН, его научных установках и успехах. В докладе были отдельно отмечены успехи ИСЗФ в развитии сети ГНСС-приемников в Иркутской области. Материалы доклада переданы зарубежным коллегам с целью организации взаимовыгодного сотрудничества.

С 27 марта по 28 апреля, а также с 27 сентября по 27 октября зам. директора д.ф.-м.н. Демидов М.Л. был командирован на Солнечную наблюдательную станцию Хуайроу Национальных астрономических обсерваторий Китая. Цель поездки — проведение совместных работ по проекту «Взаимное сопоставление полнорисковых наблюдений магнитных полей Солнца, выполненных в китайских, российских и других обсерваториях: инструментальные вопросы и проблемы физики Солнца» в рамках программы Президента Китайской академии наук «Президентская инициатива поддержки международных визитов». Во время командировок Демидов М.Л. занимался поиском физических причин, искажающих данные HSOS SMAT и делающих их практически непригодными для научных приложений. В результате рекомендаций, предложенных Демидовым М.Л. на первом этапе проекта, китайские коллеги начали выполнять измерения солнечных магнитных полей не в одном, а в двух крыльях спектральной линии, что позволило устранить наиболее существенные ошибки измерений. Кроме того, был выполнен большой объем работ по разработке IDL-программ (частично совместно с китайскими коллегами) для анализа наблюдений магнитных полей не только на SMAT, но и на телескопе СТОП Саянской обсерватории, а также наблюдений с помощью космического аппарата SDO/HMI.

С 10 по 13 мая зам. директора д.ф.-м.н. Демидов М.Л. был командирован в Испанию для участия в техническом совещании по вопросам разработки проектной документации для создаваемого в рамках Укрупненного инвестиционного проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН» солнечного телескопа-коронографа КСТ-3. Совещание было организовано с целью обсуждения состояния дел по разработке фирмой IDOM проекта купола для КСТ-3. Сотрудниками IDOM было представлено несколько презентаций, в которых обсуждались как общие концептуальные вопросы создания купола для КСТ-3, так и отдельные технические детали.

С 12 по 16 июня в.н.с. д.ф.-м.н. Мишин В.В. был приглашен в Международный институт космических исследований в Пекине (Китай). Цель командировки — проведение совместной работы в рамках недельного проекта «Международное совещание “Резонансы во внешней магнитосфере: их роль в ионосферно-магнитосферном взаимодействии”» (ISSI-BJ International Meeting on Outer Magnetospheric Resonances: The Role in Ionosphere-Magnetosphere Coupling).

С 15 по 30 сентября с.н.с. к.ф.-м.н. Мешалкина Н.С. была командирована в Китай с целью выполнения совместных научно-исследовательских работ по проекту KLSA «Исследование активных солнечных процессов с помощью многоволновых данных, полученных радиогелиографами СРГ (Россия) и MUSER (Китай)». Основными направлениями работы были анализ и отбор событий, одновременно записанных обоими инструментами и представляющих интерес для решения задач проекта. Отобраны вспышечное событие 23 июля 2016 г. с корональным выбросом массы и событие 17 декабря 2014 г. с квазипериодическими колебаниями. Были построены радиоизображения на частотах 4–8 ГГц. Обсуждался план дальнейших работ. Кроме того, Мешалкина Н.С. выступила на научном семинаре с устным докладом “Siberian Radioheliograph: First Results”.

С 14 по 16 ноября зам. директора д.ф.-м.н. Демидов М.Л., зав. лаб. к.ф.-м.н. Колобов Д.Ю. и зам. директора д.ф.-м.н. Олемской С.В. были командированы в Испанию. Цель поездки — участие в работе совещания по вопросам приемки этапа работ по разработке проектной документации для купола, создаваемого в рамках Укрупненного инвестиционного

проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН» Солнечного телескопа-коронोगрафа КСТ-3. Результатом совещания стало принятие этапа данных работ; основой для выполнения этого этапа явились рекомендации и технические решения, согласованные во время первого визита в мае 2017 г.

С 29 ноября по 30 декабря в.н.с. д.ф.-м.н. Леонович А.С. и зав. лаб. к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю. были командированы в Китай (Пекинский университет). Цель командировки — проведение совместных научно-исследовательских работ в рамках гранта «Проект инициативы «Один пояс и один путь» по обмену опытом с иностранными специалистами в области образования, науки, культуры и здравоохранения — Магнитосферные УНЧ-волны» (“The Belt and Road (B&R) education, science, culture and health foreign experts bringing project — Magnetospheric ULF wave”).

С 3 по 10 декабря в.н.с. д.ф.-м.н. Мишин В.В. был приглашен в Институт космических исследований Национального центрального университета (Тайвань). Цель командировки — чтение трех лекций в двух университетах Тайнань и Чжунли и проведение дискуссий о совместных научно-исследовательских работах.

С 13 по 19 декабря н.с. Подлесный А.В. был командирован в Казахстан (г. Байконур) с целью ознакомления с объектами наземной космической инфраструктуры и наблюдения за запуском космического корабля «Союз МС-07».

С 21 сентября 2015 г. по 31 марта 2018 г. н.с. Анфиногентов С.А. был командирован в Университет Уорика (г. Ковентри, Великобритания) для выполнения совместных научно-исследовательских работ по контракту в рамках гранта ERC-AG «МГД волновая диагностика солнечной атмосферы» и реализации проекта II.16.3.2 «Нестационарные волновые процессы в солнечной атмосфере».

С 1 октября 2016 г. по 30 сентября 2018 г. инженер-электроник Муратова Н.О. командирована в Астрономический институт Академии наук Чешской Республики (Обсерватория Ондржеев, Чешская Республика) для проведения совместных научно-исследовательских работ по контракту в рамках гранта «Scientific Research with Radio Interferometrical Data and Collaboration in Czech ALMA-EU ARC» (Project ALMA MSMT, No. LM2015067).

Международные проекты

Инициативный научный проект РФФИ — Государственный фонд естественных наук Китая (ГФЕН) № 16-55-53003_ГФЕН_а «Особенности реакции ионосферы Восточно-Азиатского региона на геомагнитные возмущения». Координаторы — советник РАН акад. Жеребцов Г.А., ИСЗФ СО РАН; профессор Ши Цзянькуи, Национальный центр космических исследований КАН (район Хай Дянь, ул. Чжунгуаньцунь, пер. Наньэртяо № 1, 100190 Пекин, Китай). Сроки: 2016–2017 гг.

С целью проведения совместных работ по проекту в 2017 г. осуществлено 2 рабочих совещания во время симпозиума “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017), 22–25 мая в Санкт-Петербурге и Второго международного генерального симпозиума VarSITI (VarSITI-2017), 10–15 июля в Иркутске. В рамках проекта в 2017 г. проведено исследование суточно-сезонной картины и изменений в цикле солнечной активности появляемости F-рассеяния по данным Иркутского дигизонда DPS-4. Суточное поведение появляемости F-рассеяния полностью согласуется со всеми предыдущими исследованиями. Сезонное поведение, демонстрирующее максимумы появляемости F-рассеяния в периоды равноденствия, согласуется с сезонным поведением, наблюдаемым на средних широтах Азиатского и Европейского регионов при высокой солнечной активности. Использование двойной линейной регрессии на индексы солнечной и магнитной активности показало, что появляемость F-рассеяния в осенний период имеет хорошо выраженную положительную корреляцию с индексом солнечной активности $F10.7$. Этот результат не согласуется ни с одним из предыдущих исследований, где отмечалась отрицательная корреляция появляемости F-рассеяния с солнечной активностью. Причины этого расхождения

требуют отдельных исследований. На основе данных девяти ионозондов вертикального зондирования, расположенных в широтной зоне 19–66° N и долготном секторе 100–130° E, была исследована также широтно-временная динамика ионосферных возмущений во время сильной двуступенчатой геомагнитной бури 17–19 марта 2015 г. Джоулев нагрев термосферы, вызванный западным электроджетом, привел к увеличению скорости нейтрального ветра и генерации возмущенного электрического динамо-поля. Усиление ветра стало основной причиной положительного ионосферного возмущения, наблюдавшегося на средних широтах вечером 17 марта. Дальнейшее усиление магнитосферной конвекции вызвало смещение главного ионосферного провала (ГИП) и связанное с ним отрицательное ионосферное возмущение в средних широтах. На низких широтах основной причиной ионосферных возмущений было быстрое проникновение электрических поля магнитосферного происхождения и возмущение электрического динамо-поля.

Инициативный научный проект РФФИ — Японское общество продвижения науки (ЯФ_а) №16-52-50077 «Нарушение симметрии в магнитогидродинамической турбулентности как источник солнечной цикличности: наблюдательные и теоретические аспекты». Координаторы — Кузаян К.М., ИЗМИРАН, г. Москва; Екои Н., Институт промышленных наук, Университет Токио (4-6-1, Комаба, Мегуро, Токио 153-8505, Япония). Сроки: 2016–2017 гг.

В рамках проекта соисполнителями из ИСЗФ СО РАН в 2017 г. исследованы течения плазмы на начальной стадии образования малых активных областей в фотосфере Солнца. Из сравнения наблюдательных данных с идеализированной МГД-моделью установлено, что усиленные восходящие течения плазмы формируются выходящим магнитным потоком за счет изменения градиентов газового и магнитного давлений. Результаты работы опубликованы в рецензируемом журнале *The Astrophysical Journal* и представлены на двух международных конференциях: VarSITI-2017 (Иркутск, 10–15 июля 2017) и ESPM-15 (Будапешт, 4–8 сентября 2017).

Инициативный научный проект РФФИ — организации-участники Рамочной программы БРИКС в сфере науки, технологий и инноваций (БРИКС_а) № 17-52-80064 «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 Банержи, Индийский институт астрофизики (Индийский технологический университет) (Корамангала, г. Бангалор, 560034, Индия). Сроки: 2017–2020 гг.

Реализация проекта началась в сентябре 2017 г. Создан и запущен в работу веб-сайт проекта <https://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/cfsa/people/valery/research/superflares/>. Планируется провести детальный анализ существующих оптических и рентгеновских наблюдений супервспышек по данным телескопов Kepler и XMM Newton. Кроме того, впервые будут проведены наблюдения звезд с супервспышками в радиодиапазоне с помощью ведущих мировых радиотелескопов. Для наблюдений в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах будет использован новый индийский космический телескоп Astrosat. Фотометрическая поддержка будет проводиться с помощью наблюдательной базы Крымской астрофизической обсерватории.

Инициативный научный проект РФФИ — Национальный научный фонд Болгарии (Болг_а) № 17-52-18050 «Источники солнечных космических лучей: солнечные вспышки или выбросы корональной массы». Координаторы — Кашапова Л.К., ИСЗФ СО РАН; Росица Митева, Институт космических исследований и технологий БАН (1113, ул. акад. Георги Бончев, 1, София, Болгария). Сроки: 2017–2018 гг.

За время выполнения проекта (с сентября 2017 г.) были отобраны события, произошедшие в 23-м солнечном цикле, на них проведено тестирование методик, предложенных в заявке. Создан и запущен в работу веб-сайт проекта: <http://www.stil.bas.bg/SEPorigin/>.

Научный проект PWING (“Study of dynamical variation of particles and waves in the inner magnetosphere using ground-based network observations”) («Исследование динамиче-

ских 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-те, Чикуса-ку, Нагоя, Аичи 464-8601, Япония). Сроки: 2016–2021 гг.

По результатам анализа экспериментального материала, выполненного в рамках проекта с использованием инструментов ИСЗФ СО РАН, исследовались возбуждения геомагнитных пульсаций и всплесков светимости полярных сияний на выносном пункте (в.п.) Исток (Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция ИСЗФ СО РАН). Обнаружены синхронные увеличения интенсивности вариаций магнитного поля Земли и полярных сияний в различных длинах волн. Такие наблюдения позволяют исследовать связь отдельных типов геомагнитных пульсаций с энергетикой высыпающих частиц, что актуально при выявлении физических механизмов генерации различных типов возмущений в магнитосфере Земли. Данные в.п. Исток в рамках российско-японского проекта представлены на сайте http://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/magne/induction/spect_2017.html. Полученные научные результаты были представлены на международном совещании по проекту “International Space Weather Meridian Circle Program (IMCP)”, Китай, а также на конференции ISAR-5, Япония. В октябре 2017 г. завершено размещение японской аппаратуры (камеры всего неба, риометра и приемника ОНЧ-сигналов) на в.п. Исток. Описание наблюдательной базы международной коллаборации в рамках проекта PWING представлено в виде совместной статьи, принятой к печати в журнале “Earth and Planetary Science Letters”.

Инициативный научный проект РФФИ — Государственный фонд естественных наук Китая (ГФЕН) № 17-52-53203-ГФЕН «Мультифрактальность спиральных характеристик магнитных полей Солнца на фазе спада 22–24-го циклов активности: новые наблюдательные аспекты и послышки для теории динамо». Координаторы — Кузаян К.М., ИЗМИРАН, г. Москва; Чжан Х., Солнечная наблюдательная станция Хуайроу, Национальные астрономические обсерватории КАН (20А улица Датун, район Чаоян, Пекин, 100012, Китай). Сроки: 2017–2018 гг.

За время выполнения проекта соисполнителями из ИСЗФ СО РАН в 2017 г. отправлен доклад в Труды конференции “Solar Polarization Workshop – 8” (Флоренция, 2016 г.).

Грант SCOSTEP/VarSITI для поддержки участников Второго международного генерального симпозиума VarSITI (VarSITI-2017), проводимого ИСЗФ СО РАН. Координаторы — Сыч Р.А., ИСЗФ СО РАН; проф. Марианна Шеперд, Центр исследований в области солнечно-земной физики Йоркского университета (4700 Кил-стрит, Торонто, Онтарио M3J 1P3, Канада). Сроки: 2017 г.

В рамках проекта на сайте VarSITI была создана веб-страница симпозиума. После завершения симпозиума сопредседателям VarSITI и секретариату SCOSTEP был представлен заключительный научный отчет о проведении мероприятия. В адрес научного секретаря SCOSTEP проф. Марианны Шеперд был выслан финансовый отчет, включающий распределение расходов, а также имена и места работы поддержанных грантом участников. Материалы докладов, представленных на симпозиуме VarSITI-2017, опубликованы в журнале Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics (JASTP).

Грант COSPAR для поддержки молодых ученых Летней школы “Advanced Concepts in Solar-Terrestrial Coupling in the Context of Space Weather” в рамках Второго международного генерального симпозиума VarSITI (VarSITI-2017), проводившегося ИСЗФ СО РАН. Координаторы — Сыч Р.А., ИСЗФ СО РАН; зам. директора COSPAR А. Яновский (2, пл. Морис-Кантен, 75039 Париж, Франция). Сроки: 2017 г.

В рамках проекта секретариату COSPAR был представлен заключительный научный отчет о проведении Летней школы для публикации в журнале Space Research Today. Данное мероприятие проводилось в рамках сотрудничества между Центром компьютерного моделирования (ССМС) и программой VarSITI. В работе школы приняли участие 38 российских и зарубежных молодых ученых.

Инициативный научный проект РФФИ № 17-52-77005 по организации в 2017 г. на территории РФ российско-британских семинаров молодых ученых, проводимый совместно РФФИ и Лондонским Королевским Обществом. Координаторы — Кашапова Л.К., ИСЗФ СО РАН; проф. Накаряков В.М., Университет Уорика (Ковентри CV4 7AL, Великобритания). Сроки: 2017 г.

В рамках проекта в ИСЗФ СО РАН с 18 по 21 сентября 2017 г. проходил Российско-Британский семинар молодых ученых «Динамические плазменные процессы в гелиосфере: от Солнца до Земли». За время пребывания в ИСЗФ СО РАН члены британской делегации выступили с докладами и провели дискуссию с российскими участниками семинара во время обсуждения докладов и круглых столов. Сьюзанн Имбер прочитала научно-популярную лекцию для читателей Иркутской областной государственной универсальной научной библиотеки им. И.И. Молчанова-Сибирского. В рамках семинара была организована дискуссия британских ученых по вопросам международного сотрудничества с читателями той же библиотеки, а также проведен круглый стол «Программы и конкурсы Британского Совета в области образования и науки в России» с участием координатора проектов по образованию и науке из Британского Совета.

Участие магнитной обсерватории «Иркутск» ИСЗФ СО РАН в работе Международной сети магнитных обсерваторий INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network). Координаторы — А.С. Потапов, ИСЗФ СО РАН; председатель рабочего комитета INTERMAGNET, руководитель Национальной магнитной обсерватории Бельгии Жан Рассон (Королевский метеорологический институт Бельгии, 2 ул. Фаньоль, Дурб, В-5670 Вируанваль, Бельгия). Сроки: 1996–2019 гг.

Магнитная обсерватория «Иркутск» (п. Патроны) ИСЗФ СО РАН принята в мировое сообщество магнитных обсерваторий INTERMAGNET первой в России в 1996 г. Международная программа INTERMAGNET объединяет цифровые магнитные обсерватории по всему земному шару в единую сеть станций (~180 станций), работающих по современному стандарту для производства магнитных данных и обмена ими в квазиреальном режиме времени. В 2017 г. магнитная обсерватория «Иркутск» ежедневно отправляла обработанные одномоментные данные по трем компонентам магнитного поля Земли (H , D , Z) в европейский центр INTERMAGNET в Эдинбурге (Англия), а также в российско-украинский сегмент INTERMAGNET, который расположен в Геофизическом центре РАН (ГЦ РАН, Москва). Кроме того, сотрудники магнитной обсерватории «Иркутск» подготовили данные за прошедший год (произведена коррекция первичных данных с учетом базовых уровней магнитного поля Земли, рассчитываемого для прошедшего года) для записи ежегодного итогового CD-диска INTERMAGNET. Ежегодное получение данного диска с выверенными и скорректированными данными всех обсерваторий INTERMAGNET за прошедший год позволяет сотрудникам Института использовать эти данные в собственных исследованиях.

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 2017 г. проводились совместные исследования по проектам РФФИ №16-55-53003 и РФФИ №17-52-80064. В ходе командировок в Китай сотрудники ИСЗФ СО РАН выполняли научно-исследовательские работы и проводили совместные наблюдения на Солнечной наблюдательной станции Хуайроу, в Обсерватории Минганту Национальных астрономических обсерваторий КАН, в Пекинском университете и Международном институте космических исследований в Пекине. Состоялись также выезды делегаций ИСЗФ СО РАН в г. Чэнду и Циндао для участия в конференции “2017 AGU

Chapman Conference” и в международном совещании по проекту “International Space Weather Meridian Circle Program (IMCP)”, где проводилось обсуждение дальнейшего научно-технического сотрудничества ИСЗФ СО РАН с научными учреждениями Китая. В международных конференциях, проведенных Институтом в 2017 г. (XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы», Второй международный генеральный симпозиум VarSITI (VarSITI-2017), Российско-Британский семинар молодых ученых «Динамические плазменные процессы в гелиосфере: от Солнца до Земли»), приняли участие представители ведущих научных учреждений Китая — НЦКИ КАН, Национальных астрономических обсерваторий КАН, Института атмосферной физики КАН, Национального центра спутниковой метеорологии Китайского метеорологического управления. Кроме того, в 2017 г. были подписаны соглашения о научном сотрудничестве с Китайским научно-исследовательским институтом распространения радиоволн, Ключевой лабораторией по космической погоде НЦКИ КАН, Обсерваторией Минганту Национальных астрономических обсерваторий КАН, а также Меморандум о взаимопонимании по вопросам сотрудничества с Национальными астрономическими обсерваториями КАН (Обсерватория Хуайроу). Написан ряд совместных статей.

В рамках «Программы российско-китайского сотрудничества в области космоса на 2018–2022 гг.» получила поддержку тематика исследований ИСЗФ «Наблюдение и исследование малоразмерного космического мусора на околополярных орбитах с использованием информации системы EISCAT и радара некогерентного рассеяния Обсерватории радиофизической диагностики атмосферы ИСЗФ» совместно с Китайским научно-исследовательским институтом распространения радиоволн. Даная тема была включена в «Соглашение между Китайской национальной космической администрацией и Государственной корпорацией по космической деятельности «Роскосмос» по сотрудничеству в области мониторинга космического мусора и практического использования получаемых данных».

Визиты зарубежных ученых в ИСЗФ СО РАН

С 29 декабря 2016 г. по 15 января 2017 г. научный сотрудник Аркадиуш Берлицки из Астрономического института Вроцлавского университета (Польша) посетил Институт для проведения совместных научно-исследовательских работ. За время пребывания в Иркутске А. Берлицки провел ряд научных дискуссий, побывал в Радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (урочище Бадары, респ. Бурятия). Также в ходе визита было подписано Соглашение по научному сотрудничеству в области астрофизики и солнечно-земной физики между ИСЗФ СО РАН и Астрономическим институтом Вроцлавского университета.

С 19 по 23 марта Институт посетил доцент Института исследований околоземного космического пространства Нагойского университета Нозому Нишитани. Цель визита — проведение совместных научных работ в рамках проекта «Исследование динамических вариаций поведения частиц и волн во внутренней магнитосфере с использованием наблюдений сети наземных станций» (проект PWING). За время пребывания в ИСЗФ СО РАН Н. Нишитани провел несколько совещаний с целью обсуждения текущего состояния работ в рамках проекта. Проведена дискуссия по возможности использования оптических данных для исследований в рамках проекта PWING и в других совместных работах, а также согласована схема обмена обработанными данными. Кроме того, Н. Нишитани побывал на магнитной обсерватории «Иркутск».

С 29 июня по 1 июля Институт посетили научные сотрудники Национальной астрономической обсерватории Японии и Обсерватории Хиды (Университет Киото) Такаси Сакураи, Еитиро Ханаока, Масаоки Хагино, Ки эси Ичимото и Кэнити Оцудзи. Цель визита — работа в рамках совместного российско-японского гранта РФФИ 16-52-50077ЯФ «Нарушение симметрии в магнитогидродинамической турбулентности как источник солнечной цикличности: наблюдательные и теоретические аспекты». В ходе визита все научные

сотрудники из Японии представили устные доклады, провели ряд дискуссий, связанных с наблюдениями короны и магнитных полей на Солнце с различным пространственным разрешением. Кроме того, состоялись поездки в Байкальскую астрофизическую обсерваторию (п. Листвянка), Саянскую солнечную обсерваторию (п. Монды, Республика Бурятия) и Радиоастрофизическую обсерваторию (урочище Бадары, Республика Бурятия).

С 3 по 7 июля для участия в XXIII Международном симпозиуме «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» Институт посетили научные сотрудники НЦКИ КАН Циньцзэн Ли, Цзияо Сюй и Вэй Юань. Помимо выступлений с устными докладами на симпозиуме, китайские ученые побывали в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (п. Торы) и приняли участие в работе круглого стола, на котором были выработаны предварительные условия сотрудничества и обмена научной информацией о свечении атмосферы Земли.

В период с 9 по 15 июля в работе Второго международного генерального симпозиума «Изменчивость Солнца и его влияние на Землю» (Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact (VarSITI-2017)) и Летней школы приняли участие 54 зарубежных специалиста из 42 научных организаций.

№	Фамилия, имена	Должность	Организация, страна	Срок пребывания
1.	Krastev Krasimir Nikolaev (Крастев Красимир Николаев)	научный сотрудник	Институт космических исследований и технологий Болгарской академии наук, Болгария	09.07–16.07
2.	Gryciuk Magdalena (Грыцюк Магдалена)	аспирантка	Центр космических исследований Польской академии наук, Польша	06.07–19.07
3.	Casti Marta (Касте Марта)	научный сотрудник	Астрофизическая обсерватория Турина, Италия	08.07–12.07
4.	Owolabi Oluwafisayo Paul (Оволаби Олувафисайо Пол)	аспирант	Университет Илорина, Нигерия	08.07–16.07
5.	Chen Xingyao (Чэн Синъяо)	аспирантка	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	08.07–16.07
6.	Irbah Abdanour (Ирба Абданур)	научный сотрудник	Национальный центр научных исследований, Франция	07.07–17.07
7.	Norton Aimee Ann (Нортон Эйми Энн)	научный сотрудник	Стэнфордский университет, США	06.07–20.07
8.	Taktakishvili Aleksandre (Тактакишвили Александр)	научный сотрудник	Центр космических полетов им. Годдарда и Католический университет Америки, США	06.07–18.07
9.	Bhattacharyya Archana (Бхаттачарья Арчана)	старший научный сотрудник	Индийский институт геомагнетизма, Индия	08.07–13.07
10.	Kouba Daniel (Коуба Даниэл)	научный сотрудник	Институт атмосферной физики АН ЧР, Чехия	06.07–17.07
11.	Ionescu Diana (Йонеску Дьяна)	научный сотрудник	Институт геодинамики Румынской академии, Румыния	07.07–18.07
12.	Nandi Dibyendu (Нанди Дибьенду)	доцент, руководитель	Центр передового опыта в области космических наук, Индия	08.07–12.07
13.	Peters Dieter Herbert	старший	Институт атмосферной физики	08.07–17.07

	Werner (Петерс Дитер Херберт Вернер)	научный сотрудник	им. Лейбница, Германия	
14.	Yiğit Erdal (Йигит Эрдал)	доцент	Университет Джорджа Мейсона, США	08.07–18.07
15.	Muhamad Johan (Мухамад Джохан)	аспирант	Нагойский университет, Япония	08.07–17.07
16.	Yan Yihua (Янь Ихуа)	профессор	Национальные астрономические обсерватории КАН, Китай	08.07–17.07
17.	Arikan Feza (Арикан Феца)	профессор	Университет Хаджеттепе, Турция	08.07–17.07
18.	Lübken Franz-Josef Bernhard (Любкен Франц-Йозеф Бернхард)	директор	Институт атмосферной физики им. Лейбница, Германия	08.07–17.07
19.	Piantschitsch Isabell (Пианчич Изабелль)	аспирантка	Институт физики Грацкого университета, Австрия	05.07–01.08
20.	Laštovička Jan (Лаштовичка Ян)	ст. научный сотрудник	Институт атмосферной физики АН ЧР, Чехия	07.07–20.07
21.	Čalogović Jaša (Чалогович Яша)	постдок	Загребский университет, Хорватия	05.07–01.08
22.	Muglach Karin (Муглах Карин)	научный сотрудник	Католический университет Америки, США	03.07–19.07
23.	Shiokawa Kazuo (Шиокава Кадзуо)	профессор	Нагойский университет	07.07–17.07
24.	Viswanathan Lakshmi Narayanan (Висванатан Лакшми Нараянан)	научный сотрудник	Национальная лаборатория атмосферных исследований, Индия	09.07–13.07
25.	Lefèvre Laure Patricia (Л ефэвр Лор Патрисия)	научный сотрудник	Королевская обсерватория Бельгии, Бельгия	07.07–16.07
26.	Pustilnik Lev Aron (Пустильник Лев Арон)	профессор	Израильский центр изучения космических лучей и космической погоды, Израиль	07.07–16.07
27.	Galkin Ivan (Галкин Иван)	научный сотрудник	Центр атмосферных исследований, Университет шт. Массачусетс, США	07.07–16.07
28.	Rozanov Eugene (Розанов Евгений)	старший научный сотрудник	Давосская физическая и метеорологическая обсерватория/Мировой радиационный центр, Швейцария	08.07–16.07
29.	Ruzmaikin Alexander (Рузмайкин Александр)	старший научный сотрудник	Калифорнийский технологический институт, США	08.07–17.07
30.	Hunt Linda Allen (Хант Линда Эллен)	исследователь	Корпорация «Научные системы и приложения», США	07.07–21.07
31.	Qian Liying (Цянь Лиин)	научный сотрудник	Национальный центр атмосферных исследований, США	08.07–17.07
32.	Damé Luc (Даме Люк)	старший научный сотрудник	Лаборатория по исследованию атмосфер, сред и космических наблюдений Национального центра научных исследований, Франция	07.07–17.07
33.	Sergeeva Maria (Сергеева Мария)	научный сотрудник	Мексиканская служба погоды SCiESMEX, Национальный автоном-	08.07–17.07

			ный университет Мексики	
34.	Nitta Nariaki Vincent (Нитта Нариаки Винсент)	старший научный сотрудник	Центр разработки перспективных технологий «Lockheed Martin», США	07.07–17.07
35.	Gopalswamy Natchimuthukonar (Гопалсвами Натчхимутхуконар)	научный сотрудник	Центр космических полетов Годдарда, США	08.07–17.07
36.	Mäkelä Pertti Antero (Мякеля Пертти Антеро)	научный сотрудник	Католический университет Америки, США	08.07–17.07
37.	Koucká Knížová Petra (Коуцка Книжова Петра)	научный сотрудник	Институт атмосферной физики АН ЧР, Чехия	08.07–16.07
38.	Redmon Robert Joseph (Редмон Роберт Джозеф)	научный сотрудник	Национальное управление океанических и атмосферных исследований, США	06.06–17.07
39.	Badeke Ronny (Бадеке Ронни)	младший научный сотрудник	Германский центр авиации и космонавтики, Германия	08.07–17.07
40.	Ravindran Selvakumaran (Равиндран Селвакумаран)	научный сотрудник	Индийский институт геомагнетизма, Индия	07.07–17.07
41.	Dalla Silvia (Далла Сильвия)	лектор	Университет Центрального Ланкашира, Великобритания	08.07–13.07
42.	Watanabe Takashi (Ватанабэ Такаши)	старший консультант	Международное бюро Мировой системы данных, Япония	08.07–17.07
43.	Nakamura Takuji (Накамура Такудзи)	профессор	Национальный институт полярных исследований, Япония	08.07–16.07
44.	Nakariakov Valery (Накаряков Валерий)	профессор	Университет Уорика, Великобритания	08.07–16.07
45.	Dobrică Venera (Добрикэ Венера)	научный сотрудник	Институт геодинамики Румынской академии, Румыния	07.07–18.07
46.	Madineni Venkat Ratnam (Мадинени Венкат Ратнам)	научный сотрудник	Национальная лаборатория атмосферных исследований, Индия	09.07–16.07
47.	Krupař Vratislav (Крупарж Вратислав)	научный сотрудник	Институт атмосферной физики АН ЧР, Чехия	08.07–13.07
48.	Yoshimasa Tanaka (Ешимаса Танака)	доцент	Национальный институт полярных исследований, Япония	08.07–17.07
49.	Sofia Ulysses John (София Улиссес Джон)	профессор	Американский университет, США	09.07–15.07
50.	Qi Jin (Ци Цзинь)	научный сотрудник	Национальный центр спутниковой метеорологии Китайского метеорологического управления, Китай	08.07–16.07
51.	Damas Marie Chantale	доцент	Колледж Куинсборо Коммьюнити г. Нью-Йорк, США	06.07–20.07

	(Дамас Мари Шанталь)			
52.	Zhang Shunrong (Чжан Шуньжун)	научный сотрудник	Обсерватория Хэйстек Массачусетского Технологического института	08.07–17.07
53.	Grichshenko Valentina (Грищенко Валентина)	Зав. лаб.	ДТОО «Институт ионосферы», Казахстан	10.07–17.07
54.	Ward William Edmund (Уорд Уильям Эдмунд)	профессор	Университет Нью-Брансуика, Канада	08.07–16.07

Для участия в работе Российско-Британского семинара молодых ученых «Динамические плазменные процессы в гелиосфере: от Солнца до Земли» в Институт с 17 по 23 сентября прибыли 17 зарубежных специалистов из 11 научных организаций.

№	Фамилия, имена	Должность	Организация, страна
1.	Antolin Patrick (Антолин Патрик)	научный сотрудник	Сент-Эндрюсский университет, Великобритания
2.	Sohon John Charles (Коксон Джон Чарльз)	научный сотрудник	Университет Саутгемптона, Великобритания
3.	Dieval Catherine Carmen Gisèle (Диваль Катрин Кармен Жизель)	старший научный сотрудник	Ланкастерский университет, Великобритания
4.	Elsden Thomas William (Элдсен Томас Уильям)	научный сотрудник	Сент-Эндрюсский университет, Великобритания
5.	Imber Suzanne Mary (Имбер Сьюзанн Мери)	адъюнкт-профессор	Университет Лестера, Великобритания
6.	Keys Peter Hugh (Киз Питер Хью)	научный сотрудник	Университет Квинс в Белфасте, Великобритания
7.	Korsós Marianna Brigitta (Коршош Марианна Бригитта)	аспирантка	Университета Шеффилд, Великобритания
8.	Matthew James Knight (Мэтью Джеймс Найт)	научный сотрудник	Университет Лестера, Великобритания
9.	Nelson Cristopher James (Нельсон Кристофер Джеймс)	научный сотрудник	Университет Шеффилда, Великобритания
10.	Pascoe David James (Паско Дэвид Джеймс)	научный сотрудник	Университет Уорика, Великобритания
11.	Shetye Juie (Шетье Джуие)	научный сотрудник	Университет Уорика, Великобритания
12.	Shore Robert Michael (Шор Роберт Майкл)	научный сотрудник	Британский институт изучения Антарктики, Великобритания
13.	Thurgood Jonathan Ormston (Торгуд Джонатан Ормстон)	научный сотрудник	Нортумбрийский университет, Великобритания
14.	Ogunsua Babalola Olasupo Isaiah (Огунсуа Бабалоло Оласупо Исая)	научный сотрудник	Институт атмосферной физики КАН, Китай
15.	Harim Lee (Харим Ли)	научный сотрудник	Университет Кенхи, Корея
16.	Nakariakov Valery (Накаряков Валерий)	профессор	Университет Уорика, Великобритания
17.	Kolotkov Dmitrii	научный	Университет Уорика, Велико-

(Колотков Дмитрий)	сотрудник	британия
--------------------	-----------	----------

Участие сотрудников ИСЗФ СО РАН в работе международных организаций

Название международной организации	Фамилия
Американская ассоциация содействия развитию науки (American Association for Advancement of Science — AAAS)	А.А. Головки
Американский геофизический союз (American Geophysical Union — AGU)	В.И. Куркин, В.В. Мишин, А.С. Потапов, Д.А. Козлов
Азиатско-тихоокеанское сообщество наук о Земле (Asia Oceania Geosciences Society — AOGS)	А.А. Мыльникова, А.С. Ясюкевич, Ю.В. Ясюкевич
Сообщество европейских солнечных радиоастрономов (Community of European Solar Radio Astronomers — CESRA)	А.Т. Алтынцев, В.В. Гречнев, А.А. Кузнецов, Г.Я. Смольков
Международная общественная организация «Астрономическое Общество» (Eurasian Astronomical Society — EAAS)	В.В. Гречнев, Л.В. Ермакова, В.М. Григорьев, В.В. Пипин, С.А. Григорьева, Р.А. Сыч, М.Л. Демидов, В.М. Томозов, Л.К. Кашапова, С.А. Язев, Н.И. Кобанов, Г.И. Кушталь, А.В. Мордвинов, Н.М. Фирстова, Г.Я. Смольков, А.И. Хлыстова В.Г. Файнштейн,
Европейское астрономическое сообщество (European Astronomical Society — EAS)	Л.К. Кашапова
Европейский союз наук о Земле (European Geosciences Union — EGU)	Ю.В. Ясюкевич
Международный астрономический союз (International Astronomical Union — IAU)	А.Т. Алтынцев, В.В. Гречнев, М.Л. Демидов, В.В. Пипин, Л.Л. Кичатинов, Р.А. Сыч Д.Ю. Колобов, Г.Я. Смольков
Международный проект «Международная справочная модель ионосферы» (International Reference Ionosphere (IRI) Project)	К.Г. Ратовский
Национальный координатор программы Международная инициатива Космическая погода (International Space Weather Initiative — ISWI)	Г.А. Жеребцов
Международная общественная организация «Оптическое общество им. Д.С. Рождественского» (Optical society named after D.S. Rozhdestvensky)	В.И. Скоморовский
Национальный представитель Международного научного комитета по солнечно-земной физике (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics — SCOSTEP)	Г.А. Жеребцов
Представитель научной дисциплины в Международном коми- тете по солнечно-земной физике (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics — SCOSTEP)	Р.А. Сыч
Комитет по космическим исследованиям (Committee on Space Research — COSPAR)	Г.А. Жеребцов, А.С. Потапов

Переменность Солнца и его воздействие на Землю (Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact — VarSITI)	А.Т. Алтынцев, А.А. Головки, Е.М. Голубева, В.В. Гречнев, Е.В. Девятова, А.В. Медведев, И.К. Едемский, В.Г. Еселевич, И.В. Медведева, А.В. Ойнац, Н.С. Мешалкина, В.В. Пипин, Б.Г. Шпынев, Р.А. Сыч, А.В. Мордвинов, М.А. Челпанов, А.А. Мыльникова, К.Г. Ратовский, Г.Я. Смольков, В.Г. Файнштейн, М.А. Черниговская, А.С. Ясюкевич, Ю.В. Ясюкевич
Сеть по определению изменений в мезопаузе (Network for the Detection of Mesopause Change — NDMC)	И.В. Медведева

6.5. Издательская деятельность

В 2017 г., согласно плану выпуска, Институтом были изданы:

1. Журнал «Солнечно-земная физика», Т. 3, № 1–4.
2. Журнал “Solar-Terrestrial Physics” (английская версия журнала «Солнечно-земная физика»), vol. 3, iss. 1–4.
3. Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium: Abstracts.
4. Байкальская международная молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Тезисы (в печатном виде) и Труды (CD-диски).
5. Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth”: Abstracts.
6. Отчет о научной и научно-организационной деятельности в 2017 г.
7. Авторефераты диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук:
 1. Мыльникова А.А. Восстановление абсолютного значения, пространственных градиентов и временной производной полного электронного содержания по данным GPS/ГЛОНАСС.
 2. Михайлова О.С. Короткопериодные УНЧ-волны в многокомпонентной космической плазме.
 3. Клибанова Ю.Ю. Длиннопериодные геомагнитные пульсации, вызванные неоднородностями солнечного ветра.

6.6. Работа библиотеки

За 2017 г. добавлены новые записи в электронный каталог «Публикации сотрудников Института», и на сегодняшний момент в каталоге отражено 16863 публикации. В БД «Электронные книги» прибавилось еще 49 новых книг. По запросам сотрудников скачаны 384 статьи, выполнено 11 заказов по МБА из удаленных источников (библиотеки других городов) для наших сотрудников и сотрудников других институтов.

Продолжается работа по занесению в электронный каталог содержания вновь поступающих выпусков журналов «Геомагнетизм и аэрономия», «Астрономический журнал», «Письма в Астрономический журнал». Оцифрованы выпуски журнала «Геомагнетизм и

аэрономия» за 1992–199 гг. Наполняемость электронной библиотеки Института достигла 82 ГБ (80 469 файлов статей, 6 614 папок).

Продолжается ежеквартальное обновление Единого электронного каталога UNIT сведениями о новых поступлениях.

Благодаря четкой работе интернет-версии ИРБИС, пользователи электронной библиотеки активно используют возможность просматривать электронные каталоги библиотеки ИСЗФ и Объединенного каталога библиотек ИИЦ.

Совместно с диссертационным советом Института, была проведена большая работа по корректировке списка литературы, необходимой диссертантам, сканированию книг, имеющихся в фонде в бумажных версиях, чтобы у молодых специалистов была возможность работать с рекомендуемыми книгами из любого местонахождения.

Список отечественной периодики по подписке снова был сокращен из-за недостатка финансирования. Доступ к электронным научным информационным ресурсам зарубежных издательств Elsevier, Springer, American Physical Society, Cambridge University Press, IOP позволил работникам Института получать полные тексты статей из иностранных журналов в электронном виде. Подписка осуществлялась на основе грантов РФФИ и заключенных лицензионных договоров с ГПНТБ России. Проведены 5 тематических выставок:

- «Загадочный мир космоса» (по произведениям писателей-фантастов) — к Дню космонавтики;
- «Становление академической науки в Восточной Сибири» — к Дню науки;
- мини-выставки «К 160-летию К.Э. Циолковского и к 60-летию запуска первого спутника Земли (ПС-1) СССР», «К 80-летию В.Г. Распутина»;
- ежегодная выставка «Книги-юбиляры 2017 года»;
- выставки художественных работ Химича В.А., Пилив Р.А., Конюшкиной Н.Л., Липиной Т.В.

6.7. Работа с вузами

Институт сотрудничает с ИГУ (ФГБОУ ВПО Иркутский государственный университет), ИрГТУ (ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет), Байкальским экономическим университетом, Иркутским институтом железнодорожного транспорта, Иркутским педагогическим университетом, Иркутским филиалом Института гражданской авиации, Поволжским государственным технологическим университетом, Московским физико-техническим институтом МГУ и др.

В рамках соглашения о научно-техническом и образовательном сотрудничестве между Институтом солнечно-земной физики СО РАН и Бурятским государственным университетом (БГУ) на физико-техническом факультете БГУ функционирует кафедра экспериментальной и космической физики (профессор кафедры — научный руководитель ИСЗФ СО РАН, акад. Г.А. Жеребцов).

Работают три совместных с вузами Иркутска структуры:

- 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 ВПО 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 и кафедра общей и космической физики ФГБОУ ВПО Иркутский государственный университет (Приказ по ФГБОУ ВПО ИГУ № 88 от 02.05.2012 г., протокол Ученого совета ФГБОУ ВПО ИГУ № 10 от 27.04.2012 г.).

Активно используется инструментальная база Института. В его обсерваториях ежегодно проходят практику студенты ИГУ, ИрГТУ, БГУ, проводится популяризаторская деятельность. В 2017 г. были проведены экскурсии в Байкальскую астрофизическую обсервато-

рию (п. Листвянка) — 7, Саянскую солнечную обсерваторию (п. Монды) — 7, Радиоастрофизическую обсерваторию (ур. Бадары) — 4, Геофизическую обсерваторию (п. Торы) — 1.

Ученые Института совмещают свою научную деятельность с преподавательской работой в вузах. Преподавание ведут 50 сотрудников.

В 2017 г. 40 студентов вузов выполнили в Институте курсовые и дипломные работы.

6.8. 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.

Сотрудники ИСЗФ приняли активное участие в Фестивале науки в Иркутске 28–30 октября 2016 г. Были прочитаны научно-популярные лекции «Глобальные навигационные спутниковые системы: принципы работы и роль в современном мире» (с.н.с. к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич) и «От Солнца к Земле, или Как устроен ближний космос» (зав. лаб. к.ф.-м.н. Д.Ю. Климущкин).

В феврале 2017 г. в рамках празднования дней науки в ИСЗФ силами НОЦ была проведена викторина по астрономии и физике между командами Лицея № 3 и гимназии № 3 г. Иркутска. Сотрудники ИСЗФ прочитали научно-популярные лекции для жителей города в Областной библиотеке им. Молчанова-Сибирского.

Большое место в работе НОЦ занимает работа со школьниками. В 2017 г. 25 научных сотрудников и специалистов (в основном молодых ученых, находящихся в самом начале своей научной карьеры) занимались научно-исследовательской работой со школьниками в рамках подготовки к конференции школьников «Человек и космос».

Для школьников города в ИСЗФ проводится Иркутская астрономическая школа, преследующая такие цели, как подготовка к астрономическим олимпиадам, повышение уровня научной грамотности учащихся, развитие их интереса к естествознанию. В 2016–2017 учебном году для школьников г. Иркутска проводились также занятия по физике.

В рамках НОЦ 14 апреля 2017 г. при активной поддержке ИГУ и Министерства образования Иркутской области была проведена VI научно-практическая конференция школьников «Человек и космос», посвященная Дню космонавтики. Целью проведения конференции является развитие у школьников Иркутской области интереса к исследованиям космического пространства, формирования стремления к занятиям научной работой, ознакомления учащихся и педагогов с новейшими результатами исследований в данных областях науки. К организации конференции, а также к научному руководству школьниками в рамках конференции были привлечены 25 научных сотрудников Института. В конференции приняли участие 43 школьника, представляющих около 30 школ Иркутской области. С каждым годом наблюдается повышение уровня научных работ школьников. Для участников и слушателей конференции прочитана лекция «Солнце — звезда».

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 2017 г. ведущие ученые Института прочитали курсы лекций по физике Солнца, плазмы, ионосферы и магнитосферы. С целью ознакомления студентов с современными методами исследования околоземного космического пространства были проведены курсы лекций по экспериментальным методам радиофизической диагностики, радиофизическим исследованиям ионосферы, спутниковым системам связи.

В преддверии возвращения в российские школы курса астрономии сотрудники ИСЗФ принимали участие в образовательных курсах по астрономии для учителей школ г. Иркутска.

6.9. 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 Института, проведение научно-просветительской и учебно-образовательной деятельности.

На сегодняшний день экспозиция музея включает более 370 единиц хранения.

В 2017 г. музей пополнился экспонатами, связанными с историей Института:

1. Приемное устройство «КАТРАН» КБ № 1 (передал декан физического факультета ИГУ д.ф.-м.н. Н.М. Буднев);

2. Хронометры производства Первого МЧЗ им. Кирова использовались для экспериментальных работ в Тикси (передал с.н.с. к.ф.-м.н. А.Г. Сорокин);

3. Макет верхней части БСВТ (работа вед. инженера-конструктора В.Я. Говорухина).

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

Музей принимал активное участие в научных мероприятиях, проводимых Институтom. Во время ежегодной региональной конференции школьников «Человек и космос», посвященной Дню космонавтики, и XXIII Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» в выставочном зале музея для участников проводились экскурсии, работали две фотовыставки: «Исторические события» и «ИСЗФ меняет контуры».

В 2017 г. в музее прошли тематическая выставка, посвященная 60-летию солнечной радиоастрономии и созданию «Службы Солнца», слайдовая выставка к 50-летию запуска первого искусственного спутника Земли, подготовлены материалы к юбилейным выставкам в честь 50-летия Геофизической обсерватории в Торах, 130-летия Иркутской КМИС и 40-летия конструкторского бюро ИСЗФ СО РАН.

В планетарии г. Иркутска с участием музея прошло несколько лекций главного научного сотрудника отдела радиоастрофизики ИСЗФ СО РАН Г.Я. Смолькова.

По теме «Музей и школа. Новый формат взаимодействия», согласно инициативе ФАНО России, проведены два занятия по профориентации и запланировано мероприятие «К папе, к маме на работу».

В течение года в музее проведено 13 экскурсий для школьников, студентов, участников научных мероприятий, жителей Иркутска, гостей из Китая, Японии и Словении. Впечатления оставлены в книге отзывов посетителей.

6.10. Работа Совета научной молодежи Института

- Совет научной молодежи (СНМ) Института в 2017 г. принимал активное участие в научной и научно-организационной деятельности Института. Проведена следующая работа:

- Силами СНМ регулярно в течение 2017 г. велась рассылка актуальной информации о научных российских и международных мероприятиях, а также спортивных мероприятиях, проводимых в Институте и ИНИЦ. Кроме того, молодым сотрудникам рассылается информация о конкурсах на получение стипендий и грантов на научные исследования. СНМ поддерживает информационный стенд, на котором размещается актуальная информация для молодых сотрудников Института, и сайт, на котором молодые

сотрудники в интерактивном режиме могут получать необходимую им информацию о семинарах и практических занятиях.

- СМН принимал участие в организации и проведении конференции школьников «Человек и космос». Координационная работа членов Совета обеспечила активное участие молодежи ИСЗФ в работе конференции в качестве членов оргкомитета, руководителей работ школьников, членов жюри. СМН оказывал активную информационную поддержку мероприятия, размещая информацию о нем и делая рассылку по электронной почте.

- СМН участвовал в организации и проведении Международной Байкальской школы по фундаментальной физике (БШФФ-2017), включая координационную и информационную работу с молодыми сотрудниками Института. СМН участвовал также в организации международного симпозиума VarSITI-2017. Члены СМН осуществляли организацию встреч приезжих участников, а также непосредственно участвовали в работе симпозиума.

- СМН участвовал в проведении мероприятий к Дню российской науки. В рамках мероприятий совместно с НОЦ ИСЗФ СО РАН был подготовлен и проведен брейн-ринг для школьников.

- СМН принимал участие в проведении мероприятий по популяризации науки. Членами совета Ю.В. Ясюкевичем и А.М. Весниным прочитаны научно-популярные лекции в библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского, а также в Иркутском государственном университете.

- В 2017 г. проводился традиционный конкурс поддержки мобильности (конференции, семинары, выступления с представлением диссертации) молодых ученых Института в рамках выделенного СМН бюджета. Целью конкурса является не только помощь молодежи в представлении своих работ на иногородних конференциях, но и обучение молодежи поиску альтернативных источников финансирования своих исследований, что очень важно с точки зрения привлечения внебюджетного финансирования. В рамках конкурса в текущем году СМН принял решение о частичной поддержке 11 командировок молодых сотрудников Института.

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

- Председатель СМН принял участие в собрании молодежного актива СО РАН в г. Новосибирске, инициированного ФАНО России.

- Советом рассматривались кандидаты на соискание стипендий и премий среди аспирантов и молодых сотрудников. В 2017 г. выдвинуты одна кандидатура на соискание стипендии Президента РФ среди аспирантов и студентов, одна кандидатура — на соискание стипендии губернатора Иркутской области, одна кандидатура — на награждение грамотой мэра, 2 проекта — на соискание грантов президента для молодых кандидатов наук. Осуществлялась работа по отбору претендентов и сбору документов на соискание стипендии президента РФ и правительства РФ для аспирантов по приоритетным направлениям.

- СМН в 2017 г. взаимодействовал с дирекцией Института по вопросу награждения Почетной грамотой ИСЗФ СО РАН молодых сотрудников. Было рассмотрено семь кандидатур на награждение, из которых были рекомендованы 2 кандидатуры.

- При совместной организационной, финансовой и информационной поддержке СМН, Профсоюзного комитета Института, объединенного совета научной молодежи ИНЦ был организован молодежный новогодний вечер «Науку делаем вместе!».

- СМН участвовал в разработке предложений по изменению критериев конкурса стипендий губернатора для молодых ученых. Все предложения отправлены в администрацию Иркутской области.

6.11. Проведение научных мероприятий

14 апреля 2017 г. в Институте прошла VII Межрегиональная конференция школьников «Человек и космос». Организаторы — ИСЗФ СО РАН, Иркутский государственный университет (ИГУ) и Министерство образования Иркутской области. Конференция проводится с целью развития у школьников интереса к астрономии и исследованиям космического пространства, формирования стремления заниматься исследовательской работой, ознакомления учащихся и педагогов с новейшими результатами исследований в данных областях науки. К участию приглашаются учащиеся средних школ Иркутской области и республики Бурятия. В VII Межрегиональной конференции школьников «Человек и космос» приняли участие 41 учащийся из 29 школ Иркутска и Иркутской области.

С 3 по 7 июля 2017 г. в Институте прошел XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 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. Прикладные вопросы применения 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. Диагностика состояния и функционирования растительных биосистем и биологических объектов.

Д. Физика атмосферы и климат

Тематика конференции: Структура и динамика приземной и средней атмосферы. Динамика атмосферы и климат Азиатского региона. Физические процессы и явления в термосфере и ионосфере Земли. Радиофизические и оптические методы диагностики атмосферы Земли и подстилающей поверхности. Прогноз изменений климата.

Е. Исследование верхней атмосферы с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Конференция посвящена 20-летию отечественных GPS/ГЛОНАСС-исследований атмосферы

Тематика конференции: Структура и динамика верхней атмосферы по наблюдениям ГНСС. Климатологические исследования верхней атмосферы с помощью ГНСС. Взаимосвязь процессов в литосфере, атмосфере, ионосфере, магнитосфере и на Солнце по данным ГНСС. Развитие методов мониторинга верхней атмосферы с использованием ГНСС. Использование ГНСС для развития эмпирических и физических моделей. Влияние атмосферы на качество функционирования ГНСС.

Полное количество участников составило 240 человек. Было представлено 6 пленарных, 7 приглашенных, 183 устных, 220 стендовых докладов. Участие приняли 198 иногородних и четверо зарубежных ученых. Некоторые материалы конференции были изданы в сборнике докладов SPIE.

С 9 по 15 июля 2017 г. в Институте прошел Второй генеральный симпозиум VarSITI-2017. Также в рамках симпозиума была проведена Летняя школа “Advanced Concepts in Solar-Terrestrial Coupling in the Context of Space Weather” для молодых ученых, работающих в области гелиофизики и космической погоды.

Заседания прошли в рамках следующих секций:

1. Солнечные и гелиосферные возмущения, оказывающие влияние на Землю;

2. Долговременные вариации солнечного излучения, геомагнитной активности и климата;
3. Связь атмосферы Земли с межпланетным пространством. Ее соотношение с параметрами спокойного и активного Солнца;
4. Понимание физических условий в околоземном космическом пространстве и их связь с космической погодой;
5. Скоординированные наблюдения геоэффективных явлений от Земли до Солнца;
6. Отклик атмосферы на переменность Солнца и модуляция этого влияния на временной шкале от нескольких минут до десятилетий;
7. Архивация данных наблюдений и методы анализа.

Научная программа включала 70 устных (в том числе 23 приглашенных) и 161 стендовый доклад молодых студентов, исследователей, профессоров и экспертов в области солнечно-земной физики. В ходе встречи 162 участника из 26 стран и регионов России (75), США (15), Европы (27), Китая (4) и других (41) имели возможность представить научному сообществу свои работы по широким темам исследований. Установлены тесные международные научные контакты и связи ключевых научных групп ведущих университетов и организаций с исследователями России. В рамках мероприятия обсуждались такие научные задачи, как геоэффективность нестационарных процессов на Солнце (физика солнечных вспышек, волновых процессов в солнечной атмосфере, выбросов корональной массы (СМЕ)); распространение в межпланетном пространстве и эволюция структурных образований, вызванных возмущениями на Солнце; процессы в ионосфере, верхней и средней атмосфере, связанные с регулярными и спорадическими возмущениями в солнечном ветре; солнечные факторы, влияющие на космическую погоду.

Летняя школа проводилась в рамках сотрудничества между Центром компьютерного моделирования (ССМС) и программой VarSITI. В ней приняли участие 38 российских и зарубежных молодых ученых.

В рамках мероприятия были проведены также научно-популярные публичные лекции ведущих иностранных специалистов для широкого круга слушателей Иркутской области.

Принято решение выпустить специальный сборник статей в журнале «Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics (JASTP)» по материалам докладов, представленных на Втором генеральном симпозиуме VarSITI-2017 в Иркутске.

С 11 по 16 сентября 2017 г. ИСЗФ СО РАН совместно с Иркутским государственным университетом (ИГУ), физическим факультетом Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Московским физико-техническим институтом (МФТИ) проводил XV Международную Байкальскую научную молодежную школу по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде» (БШФФ-2017) и XV Конференцию молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом».

БШФФ-2017 была посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям физики Солнца, околоземного космического пространства (ОКП), атмосферы и ионосферы Земли и солнечно-земных связей, космических лучей, строения материи, физики элементарных частиц и межпланетной среды. Ключевыми вопросами являются вопросы космической погоды: воздействие Солнца на межпланетную среду и осваиваемый человеком ближний космос, включая вопросы влияния космической погоды на работу инженерных систем, систем связи, навигации, радиолокации.

В работе БШФФ-2017 и XV Конференции молодых ученых приняли участие специалисты из 18 городов и 30 организаций Российской Федерации.

В соответствии с обозначенной тематикой для чтения лекций на БШФФ-2017 были приглашены следующие ученые:

1. Жеребцов Г.А., акад. РАН (Иркутск, ИСЗФ СО РАН). Экологические проблемы околоземного космического пространства — техногенное засорение.

2. Мареев Е.А., член-корр. РАН (Нижний Новгород, ИПФ РАН). О распределении грозовой активности по земному шару и роли молнии в глобальной электрической цепи.

3. Грач С.М., д.ф.-м.н. (Нижний Новгород, ННГУ). Плазменная турбулентность верхней ионосферы в поле мощных коротких радиоволн. Физические основы.

4. Кичатинов Л.Л., д.ф.-м.н. (Иркутск, ИСЗФ СО РАН). 11-летний солнечный цикл: наблюдения, теория, прогнозы.

5. Похотелов О.А., д.ф.-м.н. (Москва, ИФЗ РАН). Ионосферный отклик на природные и антропогенные воздействия.

6. Пулинец С.А., д.ф.-м.н. (Москва, ИКИ РАН). Эффекты ионизации в атмосфере и возможности их использования в вопросах предупреждения природных и техногенных катастроф.

7. Ткачев Г.Н., д.т.н. (Москва, НИИДАР). Проблема оперативного обеспечения современных средств дальней радиолокации геофизическими данными.

8. Тихомирова О.В., к.ф.-м.н. (Томск, ИОА СО РАН). Вихревые пучки света в турбулентной атмосфере.

9. Угольников О.С., к.ф.-м.н. (Москва, ИКИ РАН). Стратосфера и мезосфера Земли: оптические и тепловые свойства.

8. Падохин А.М., к.ф.-м.н. (Москва, МГУ). Круглый стол. Томографические методы в задачах дистанционного зондирования ионосферы.

В общей сложности на БШФФ-2017 и XV Конференции молодых было заслушано 8 пленарных докладов (в рамках БШФФ-2017), 38 стендовых и 58 устных докладов, а также проведен круглый стол.

Во время выездного заседания, проведенного на Сибирском солнечном радиотелескопе (п. Бадары, Республика Бурятия), участники БШФФ-2017 смогли ознакомиться с процессом получения и первичной обработки экспериментальных данных и прослушать лекцию о принципах работы и технических особенностях Сибирского солнечного радиотелескопа, прочитанную А. Муратовым (ИСЗФ СО РАН).

XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» по традиции была проведена в рамках БШФФ. Молодыми учеными, аспирантами и студентами были представлены доклады по следующим направлениям:

А. Астрофизика и физика Солнца;

В. Физика околоземного космического пространства;

С. Диагностика естественных неоднородных сред и математическое моделирование;

Д. Физика атмосферы.

Для определения победителей XV Конференции молодых ученых было утверждено экспертное жюри в составе 15 человек под руководством д.ф.-м.н. Н.И. Кобанова. По итогам Конференции жюри присудило одно первое место, два вторых, три третьих места за устные доклады и три призовых места (первое, второе и третье) за стендовые доклады.

Награды среди устных докладчиков получили:

Подлесный А.В. (Иркутск, ИСЗФ СО РАН) — первое место за доклад «ЛЧМ-приемник с использованием программно-определяемых систем» (А.В. Подлесный).

Носиков И.А. (Калининград, БФУ им. И. Канта, ЗО ИЗМИРАН) — второе место за доклад «Применение прямого вариационного метода для поиска верхних и нижних лучей в задаче расчета КВ-радиотрасс в ионосфере» (Носиков И.А., Клименко М.В., Бессараб П.Ф., Жбанков Г.А.).

Галка А.Г. (Нижний Новгород, ИПФ РАН) — второе место за доклад «Резонансный зонд для измерения плотности и флуктуаций ионосферной плазмы на микро- и наноспутниках» (Галка А.Г. Янин Д.В., Костров А.В., Климов С.И., Новиков Д.).

Родионов Д.С. (Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена) — третье место за доклад «Низкоэнергетические неупругие атомные столкновения кальция и водорода» (Родионов Д.С., Власов Д.В., Воронов Я.В., Яковлева С.А., Беляев А.К.).

Стрекалова П.В. (Санкт-Петербург, ГОА РАН) — третье место за доклад «Колебания и структурная эволюция мелкомасштабных магнитных образований на Солнце» (Стрекалова П. В., Риехокайнен А., Смирнова В.В., Наговицын Ю.А.).

Петухова А.С. (Якутск, ИКФИА СО РАН) — третье место за доклад «Теория формообразования в магнитном облаке» (Петухова А. С., Петухов И.С., Петухов С.И.).

Победителями в секции стендовых докладов стали:

Афанасьев А.Н. (Иркутск, ИСЗФ СО РАН) — первое место за доклад «Численное моделирование взаимодействия крупномасштабных корональных волн с корональными магнитными структурами».

Белашова И.А., Бочкарев В.В. (Казань, КФУ) — второе место за доклад «Применение робастного критерия качества для фильтрации рядов критических частот слоя F2» (Белашова И. А., Бочкарев В.В.).

Рабинович Ю.В. (Иркутск, ИГУ) — третье место за доклад «Поиск источников нейтрино сверхвысоких энергий в оптическом диапазоне глобальной сетью МАСТЕР» (Рабинович Ю.В., Гресс О.А., Липунов В.М.).

Жюри отметило высокий уровень победивших докладов, а также многих других, не получивших призовые места, но по содержанию и представлению полностью отвечающих уровню российских и международных конференций.

С 18 по 21 сентября 2017 г. в Иркутске прошел Российско-Британский семинар молодых ученых «Динамические плазменные процессы в гелиосфере: от Солнца до Земли». Организаторы семинара — ИСЗФ СО РАН, Иркутская областная государственная универсальная научная библиотека имени И.И. Молчанова-Сибирского (Иркутская ОУНБ им. И.И. Молчанова-Сибирского), Университет Уорика (Ковентри, Великобритания), Университет Лестера (Лестер, Великобритания). Спонсорами семинара являлись РФФИ (грант № 17-52-77005) и Британский совет (грант 2016-RLWK7-10419).

Основной целью проведения семинара было установление новых научных связей между молодыми учеными России и Великобритании, работающих в области космической погоды. Для наиболее полного представления всех областей, объединяемых понятием космической погоды, и развития междисциплинарных связей были отобраны доклады молодых ученых, работающих над проблемами в области физики Солнца, магнитосферной и ионосферной плазмы, а также тех, кто занимается развитием методов моделирования и диагностики, которые можно применять для различных видов космической плазмы.

Основными темами семинара являлись междисциплинарные проблемы солнечной и космической физики и геофизики:

- Магнитогидродинамические волны;
- Аналогии и различия между корональной плазмой, плазмой солнечного ветра и магнитосферной плазмой и ионосферная и хромосферная плазма;
- Магнитное пересоединение и импульсные выделения энергии: солнечные вспышки и геомагнитные бури, ускорение заряженных частиц и их динамика: основные наблюдения;
- Современные методы моделирования и высокопроизводительных вычислений;
- Усовершенствованные методы анализа данных;
- Современные приборы.

В работе семинара приняли участие молодые британские научные сотрудники из Университета Сент-Эндрюс, Университета Уорика, Университета Саутгемптона, Университета Ланкастера, Астрофизического научного центра, Королевского университета Белфаста, Университета Лестера, Университета Шеффилда, Обсерватории Арма, Университета Нотумбрии, Британской антарктической службы. Молодые российские научные сотрудники были представителями следующих научных организаций: ИСЗФ СО РАН, Полярный геофизический институт КНЦ РАН, ЗО ИЗМИРАН РАН, Балтийский федеральный университет им. Канта, ГАИШ МГУ, Институт прикладной физики РАН, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Самарский национальный исследовательский университет, ИЯФ им. Скобелева МГУ. Кроме отобранных на конкурсной основе, в работе семинара

приняли участие три так называемых самофинансируемых участника из Великобритании, Университета Кюнг Хи (Республика Корея) и лаборатории космической физики, физический факультет, школа наук, Федеральный технологический университет Акюре (Нигерия).

Мероприятие проводилось на базе Иркутской областной библиотеки им И.И. Молчанова-Сибирского в рамках договора о сотрудничестве с ИСЗФ СО РАН.

Участниками семинара было проведено несколько мероприятий по популяризации результатов и достижений, полученных в области космической погоды в последние годы, а также по возможностям международного сотрудничества. Сюзан Имбер (доцент университета Лестера, Великобритания) прочитала научно-популярную лекцию для читателей публичной библиотеки на тему «Space weather through the Solar System». В ИСЗФ СО РАН состоялся круглый стол Инны Поповой (координатор проектов Британского Совета по науке и образованию) по проектам Британского Совета. Участники семинара провели также дискуссионную платформу с читателями публичной библиотеки им Молчанова-Сибирского на тему международного сотрудничества.

Всего в семинаре приняли участие 35 человек, из них 7 лекторов (4 российских и 3 зарубежных), 26 иногородних участников (8 российских и 18 иностранных). Публичные мероприятия посетили около сотни человек.

6.12. Участие в выставках

На постоянно действующей выставке разработок Сибирского отделения в Новосибирске демонстрируется прикладная разработка ИСЗФ СО РАН «Региональный мониторинг состояния окружающей среды с помощью дистанционного спутникового зондирования».

6.13. Участие в научных мероприятиях

В 2017 г. сотрудники Института участвовали в следующих российских и международных (в том числе зарубежных) научных мероприятиях.

Российские:

1. Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», ИКИ РАН, 6–10 февраля 2017 г.
2. V Всероссийская научно-техническая конференция «РТИ Системы ВКО-2017», г. Москва, 25 мая 2017 г.
3. IV Всероссийская конференция с международным участием «Триггерные эффекты в геосистемах», Москва, 6–9 июня 2017 г.
4. Всероссийская научная конференция «Фундаментальные проблемы экологии России», Иркутск, 25 июня – 1 июля 2017 г.
5. Всероссийская астрономическая конференция (ВАК-2017 г.), Ялта, Крым, 17–22 сентября 2017 г.
6. Конференция «Орбита молодежи» и перспективы развития российской космонавтики», г. Томск, 18–22 сентября 2017 г.
7. XXI Всероссийская ежегодная конференция «Солнечная и солнечно-земная физика-2017», ГАО РАН, Санкт-Петербург, 9–13 октября 2017 г.
8. Научно-практическая конференция «Среднеширотные геофизические обсерваторские наблюдения», посвященная 100-летию со дня рождения Валерии Алексеевны Троицкой и 60-летию Геофизической обсерватории «Борок», Борок, 16–19 октября 2017 г.
9. XII Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу, Томск, 17–20 октября 2017 г.
10. Конференция «Научно-технические проблемы совершенствования систем предупреждения о ракетном нападении и контроля космического пространства для парирования

новых способов боевого применения перспективных средств ракетно-космического нападения», г. Москва, 9 ноября 2017 г.

11. XV Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 13–17 ноября 2017 г.

Международные:

1. XII международная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». Москва, Россия, 6–10 февраля 2017 г.

2. 40-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений», г. Апатиты, 13–17 марта 2017 г.

3. The “10 Years Neutron Monitor Data Base” Workshop. Athens, Greece, 20–23 March 2017.

4. The EGU General Assembly 2017. Vienna, Austria, 23–28 April 2017.

5. 7th NDMC (Network for the Detection of Mesopause Change) Meeting. Grainau, Southern Germany, 15–18 May 2017.

6. International Space Weather Meridian Circle Program (IMCP). Qingdao, China, 14–17 May 2017.

7. Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2017). St. Petersburg, Russia, 22–25 May 2017.

8. RHESSI 16th Workshop / MinXSS 1st Workshop. Boulder, CO, USA, 19–24 June 2017.

9. Международный симпозиум по космическим лучам и астрофизике (ISCRA-2017). Москва, Россия, 20–22 июня 2017 г.

10. Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2017). Санкт-Петербург, Петродворец, Россия, 27–30 июня 2017 г.

11. XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.

12. International Conference on Statistical Physics SigmaPhi2017. Corfu, Greece, 10–14 July 2017.

13. Second VarSITI General Symposium (VarSITI-2017). Irkutsk, Russia, 10–15 July 2017.

14. 2017 AGU Chapman Conference on Dayside Magnetosphere Interactions. Chengdu, China, 10–15 July 2017

15. The 2nd International Electronic Conference on Atmospheric Sciences. 16–31 July 2017.

16. The International Conference on Astronomy and Geophysics. Ulan-Bator, Mongolia, 20–22 July 2017.

17. American Astronomical Society, Solar Physics Division Meeting No. 48. Portland, USA, August 21–25, 2017.

18. XXXII International Union of Radio Science General Assembly & Scientific Symposium (URSI GASS – 2017). Montreal, Canada, 18–27 August 2017.

19. IAPSO-IAMAS-IAGA Joint Assembly – 2017. Cape Town, South Africa, 27 August – 1 September 2017.

20. The International Conference “Vortices and Coherent Structures: From Ocean to Microfluids”. Vladivostok, Russia, August 28–31, 2017.

21. 15th European Solar Physics Meeting (ESPM-15). Budapest, Hungary, 4–8 September 2017.

22. 44th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods. Barcelona, Spain, 4–8 September 2017.

23. Международная Байкальская научная молодежная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде» (БШФФ-2017). Иркутск, Россия, 11–16 сентября 2017 г.

24. Young European Radio Astronomers Conference (YERAC 2017), Bologna, Italy, 18–21 September 2017.
25. Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical plasma processes in the heliosphere: from the Sun to the Earth”. Irkutsk, Russia, 18–21 September 2017.
26. VIII Международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений». Петропавловск-Камчатский, Россия, 25–29 сентября 2017 г.
27. X международная конференция «Околоземная астрономия». Краснодар, Россия, 2–6 октября 2017 г.
28. The 3rd International Conference on Particle Physics and Astrophysics. Moscow, Russia, 2–5 October 2017.
29. 1st International Team Meeting “Low Frequency Imaging Spectroscopy with LOFAR — New Look at Non-Thermal Processes in the Outer Corona”. Bern, Switzerland, 9–13 October 2017.
30. International Workshop on Solar, Heliospheric and Magnetospheric Radioastronomy: The Legacy of Jean-Louis Steinberg (1922–2016). Meudon, France, 6–10 November 2017.
31. IAGA/SCOSTEP 2017 Workshop. Prague, Czech Republic, 13–16 November 2017.
32. International Reference Ionosphere 2017 Workshop (IRI2017 Workshop). Taoyuan City, Taiwan, 13–17 November 2017.
33. Helicity Thinkshop 3. Tokyo, Japan, 19–23 November 2017.

7. ПУБЛИКАЦИИ

7.1. Статьи в отечественных журналах

1. Абдуллаев А.Р., Марков А.В., Клименко М.В., Ратовский К.Г., Коренькова Н.А., Лещенко В.С., Панченко В.А. Зависимость от солнечной и геомагнитной активности дневных значений N_mF2 над среднеширотными станциями // Химическая физика. 2017. Т. 36, № 12. С. 39–43.
2. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Зоркальцева О.С., Девятова Е.В. Атмосферные блокинг в Западной Сибири. Часть 1. Особенности обнаружения, объективные критерии и их сравнение // Метеорология и гидрология. 2017. № 10. С. 34–45.
3. Бернгардт О.И. Влияние факторов космической погоды на работу радиосредств // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 3. С. 40–60. DOI: 10.12737/szf-33201705.
4. Бернгардт О.И., Лебедев В.П., Кутелев К.А., Кушнарев Д.С., Гркович К.В. Первые совместные наблюдения радиоавроры на радарх ИСЗФ СО РАН ультракоротковолнового и коротковолнового диапазонов // Изв. вузов. Радиофизика. 2017. Т. 60, № 8. С. 692–716. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30290609>.
5. Бернгардт О.И., Перевалова Н.П., Воейков С.В., Подлесный А.В. Предварительные результаты статистического анализа субчасовых ионосферных неоднородностей в Прибайкальском регионе // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы, 2017. Вып. 2. С. 38–44.
6. Боровик А.В., Жданов Д.А. Статистические исследования солнечных вспышек малой мощности. Распределения вспышек по площади, яркости и баллам // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 34–45.
7. Боровик А.В., Жданов Д.А. Статистические исследования солнечных вспышек малой мощности. Продолжительность главной фазы // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 4. С. 5–16.
8. Ван Ч., Ши Ц., Ван Г., Ван С., Жеребцов Г.А., Романова Е.Б., Ратовский К.Г., Полех Н.М. Суточные, сезонные, годовые и полугодовые вариации ионосферных параметров на разных широтах в Восточно-Азиатском секторе на фазе роста солнечной активности // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 2. С. 45–53. DOI: 10.12737/22594.

<https://naukaru.ru/upload/7fd3f86c299d8e1ce467f949bdfec858/files/598ca1bc0bc5f0574f29c9fbefda36bf.pdf> (<https://naukaru.ru/en/nauka/journal/48/view>).

9. Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Жеребцов Г.А., Медведева И.В., Михалев А.В., Сыренова Т.Е. Регистрация параметров верхней атмосферы Восточной Сибири при помощи интерферометра Фабри—Перо КЕО SCIENTIFIC "ARINAE" // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 3. С. 70–87. DOI: 10.12737/szf-33201707. <https://naukaru.ru/en/nauka/article/16430/view>.

10. Ганхуа Л., Сяо-Фань В., Со Л., Сяо Я., Мэй Ч., Хайминь В., Чан Л., Янь С., Тлатов А.Г., Демидов М.Л., Боровик А.В., Головкин А.А. Формирование векового ряда данных по солнечной хромосфере для исследований, связанных с солнечной активностью // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 2. С. 5–9.

11. Гречнев В.В., Киселев В.И., Мешалкина Н.С., Черток И.М. О корреляции околоземных протонных возрастаний 100 МЭВ с параметрами солнечных микроволновых всплесков // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 3. С. 3–14.

12. Гульельми А.В., Потапов А.С. Влияние межпланетного магнитного поля на УНЧ-колебания ионосферного резонатора // Космич. исслед. 2017. Т. 55, № 4. С. 263–267. DOI: 10.1134/S0010952517030042. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29783209>.

13. Гульельми А.В., Потапов А.С. Волны от Солнца: К 100-летию со дня рождения В.А. Троицкой // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 3. С. 95–99. DOI: 10.12737/szf-33201709. 10.12737/szf-33201704. <https://naukaru.ru/en/nauka/article/15717/view>.

14. Гульельми А.В., Клайн Б.И., Потапов А.С. Северно-южная асимметрия ультранизкочастотных колебаний электромагнитного поля Земли // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 4. С. 27–33.

15. Дегтярев В.И., Чудненко С.Э. Аномальные особенности некоторых геомагнитных супербури // Содружество: российско-китайский научный журнал. 2017. № 18. С. 52. http://rf-china-science.ru/wp-content/uploads/2017/09/RF-China_-%D1%82_%D0%B6%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B0%D0%BB-23.pdf.

16. Демидов М.Л. О возможностях и проблемах наблюдений магнитных полей Солнца для прогноза космической погоды // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 22–33.

17. Довбня Б.В., Клайн Б.И., Гульельми А.В., Потапов А.С. Спектр частотной модуляции серпентинной эмиссии как отражение спектра солнечных колебаний // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 59–62. DOI: 10.12737/23043. http://ru.iszf.irk.ru/images/b/bc/JSTP_3_1_2017_73-77.pdf; <https://naukaru.ru/en/nauka/journal/48/view>.

18. Еселевич В.Г., Бородкова Н.Л., Еселевич М.В., Застенкер Г.Н., Шафранкова Я., Немечек З., Прех Л. Тонкая структура фронта межпланетной ударной волны по измерениям потока ионов солнечного ветра с высоким временным разрешением // Космич. исслед. 2017. Т. 55, № 1. С. 32–47.

19. Еселевич М.В., Горяшин В.Е., Коробцев И.В., Цуккер Т.Г. Наблюдение некаталогизированных объектов космического мусора на телескопе АЗТ-33ВМ // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2017. № 4, вып. 3. С. 52–60.

20. Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н. Возможность генерации ударной волны в короне Солнца при отсутствии коронального выброса массы // Астрон. журн. 2017. Т. 94, № 9. С. 793–807.

21. Еселевич В.Г., Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Влияние отраженных ионов на формирование структуры межпланетных квазиперпендикулярных ударных волн при числах Маха, меньше первого критического числа Маха // Космич. исслед. 2017. Т. 55, № 6. С. 414–428.

22. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Кириченко К.Е. Роль солнечной активности в наблюдаемых изменениях климата в XX веке // Геомагнетизм и аэрномия. 2017. Т. 57, № 6. С. 687–695.

23. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н., Руденко Г.В. Сравнение магнитных свойств ведущих и замыкающих пятен и ультрафиолетового излучения над ними // *Астрон. журн.* 2017. Т. 94, № 6. С. 537–554.
24. Захаров В.И., Ясюкевич Ю.В., Пронин В.Е. Метод статистического определения уровня сбоя полной электронной концентрации по данным GPS-наблюдений // *Ученые записки физического факультета Московского университета.* 2017. № 1. С. 171901.
25. Иванов В.Б., Затолокин Д.А., Горбачев О.А. Сравнение моделей полного электронного содержания ионосферы для системы ГЛОНАСС // *Гироскопия и навигация.* 2017. Т. 25, № 2(97). С. 89–96.
26. Ишин А.Б., Перевалова Н.П., Воейков С.В., Хахинов В.В. Первые результаты регистрации ионосферных возмущений по данным сети SibNet приемников ГНСС в активных космических экспериментах // *Солнечно-земная физика.* 2017. Т. 3, № 4. С. 82–92.
27. Ишин А.Б., Воейков С.В., Перевалова Н.П., Хахинов В.В. Комплексный анализ реакции ионосферы на работу двигательных установок ТГК «Прогресс» по данным ГНСС-приемников в Байкальском регионе // *Солнечно-земная физика.* 2017. Т. 3, № 4. С. 93–103.
28. Караханян А.А., Молодых С.И. Эволюция внетропических циклонов во время возмущенных геомагнитных условий // *Геомагнетизм и аэрономия.* 2017. Т. 57, № 5. С. 578–583. DOI: 10.7868/S0016794017050121. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30040073>
29. Кичатинов Л.Л., Непомнящих А.А. Согласованная модель солнечного динамо и дифференциального вращения // *Письма в АЖ.* 2017. Т. 43, № 5. С. 370–382.
30. Кичатинов Л.Л. Двойная холловская неустойчивость — катализатор диссипации магнитной энергии // *Письма в АЖ.* 2017. Т. 43, № 9. С. 687–697.
31. Кичигин Г.Н., Сдобнов В.Е. Жесткости геомагнитного обрезания космических лучей в модели ограниченной магнитосферы с кольцевым током // *Геомагнетизм и аэрономия.* 2017. Т. 57, № 2. С. 149–153. DOI: 10.7868/S0016794017020043. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28917731>.
32. Кичигин Г.Н., Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Параметры токовых систем в магнитосфере по данным наблюдений космических лучей в период магнитной бури в июне 2015 г. // *Солнечно-земная физика.* 2017. Т. 3, № 3. С. 15–19. DOI: 10.12737/szf-33201702. <https://naukaru.ru/en/nauka/article/16615/view>.
33. Кобанов Н.И., Чупин С.А., Челпанов А.А. К поиску наблюдательных проявлений альвеновских волн в солнечных факелах // *Письма в АЖ.* 2017. Т. 43, № 12. С. 925–934.
34. Коробцев И.В., Горяшин В.Е., Еселевич М.В. Результаты сопровождения космического аппарата в окрестности точки либрации L2 системы Солнце—Земля // *Астрон. журн.* 2017. Т. 94, № 2. С. 167–173.
35. Костарев Д.В., Магер П.Н. Дрейфово-компрессионные волны, распространяющиеся в направлении дрейфа энергичных электронов в магнитосфере // *Солнечно-земная физика.* 2017. Т. 3, № 3. С. 20–29. DOI: 10.12737/szf-33201703. <https://naukaru.ru/en/nauka/article/13866/view>
36. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Анализ форбуш-эффекта в июне 2015 г. методом спектрографической глобальной съемки // *Изв. РАН. Сер. физическая.* 2017. Т. 81, № 2. С. 196–198.
37. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Наземные возрастания интенсивности космических лучей в 24-м цикле солнечной активности // *Письма в АЖ.* 2017. Т. 43, № 7. С. 550–556.
38. Курбатов Г.А., Козловцева Е.А., Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В., Падохин А.М. Использование сигналов геостационарных спутников системы COMPASS/BeiDou для оценки ионосферных эффектов геомагнитных бурь и внезапных стратосферных потеплений // *Ученые записки физического факультета МГУ.* 2017. № 4. Ст. 1740502. <https://readtiger.com/uzmu.phys.msu.ru/ru/abstract/2017/4/1740502/>.
39. Кушнарев Д.С., Лебедев В.П., Хахинов В.В., Евстифеев С.Е., Заруднев В.Е. Модернизация Иркутского радара некогерентного рассеяния // *Солнечно-земная физика.* 2017. Т. 3, № 3. С. 88–94. DOI: 10.12737/szf-33201708 <https://naukaru.ru/en/nauka/article/16874/view>.

40. Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Кочанов А.А., Гречнев В.В., Губин А.В., Жданов Д.А., Иванов Е.Ф., Уралов А.М., Кашапова Л.К., Кузнецов А.А., Мешалкина Н.С., Сыч Р.А. Сибирский радиогелиограф: первые результаты // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 3–16.
41. Лесовой С.В., Кобец В.С. Корреляционные кривые Сибирского радиогелиографа // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 17–21.
42. Малащук В.М., Степанян Н.Н., Борисенко А.В., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В., Егоров Я.И. Вариации характеристик корональных дыр в процессе их эволюции // Изв. Крымской астрофиз. обс. 2016. Т. 112, № 2. С. 52–66.
43. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Сравнительный анализ атмосферной и ионосферной изменчивости по измерениям температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации NMF2 // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57, № 2. С. 236–248. DOI:10.7868/S0016794017020109. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28917739>.
44. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Исследование свойств потоков ускоренных частиц с помощью их энергетических спектров // Изв. Крымской астрофиз. обс. 2016. Т. 112, № 2. С. 74–79.
45. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Физические условия в солнечном ветре и изменения значений Fe/O с энергией ионов в периоды минимума активности цикла // Изв. Крымской астрофиз. обс. 2016. Т. 112, № 2. С. 80–85.
46. Михалев А.В. Особенности сезонного хода атмосферной эмиссии [OI] 557,7 нм // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 4. С. 296–300. DOI: 10.15372/AOO20170406.
47. Михалев А.В. Атмосферная эмиссия [OI] 557.7 нм в периоды экстремальных событий Эль-Ниньо/Ла-Ниньо в 23-м и 24-м солнечных циклах // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 11. С. 986–989.
48. Мишин В.В., Караваев Ю.А. Насыщение магнитосферы во время супербурь: новые результаты техники инверсии магнитограмм // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 3. С. 30–39. DOI: 10.12737/szf-33201704. <https://naukaru.ru/en/nauka/article/13875/view>.
49. Моисеев А.В., Баишев Д.Г., Мишин В.В., Уозуми Т., Йошикава А., Ду А. Особенности формирования мелкомасштабных волновых возмущений во время резкого сжатия магнитосферы // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 2. С. 36–44. DOI: 10.12737/22606. <https://naukaru.ru/en/nauka/article/13899/view>.
50. Морозова А.Д., Кочанов А.А., Синеговская Т.С., Синеговский С.И. Расчет спектров атмосферных нейтрино высоких энергий и данные измерений в экспериментах ICESCube и ANTARES // Изв. РАН. Сер. физическая. 2017. Т. 81, № 4. С. 555–558.
51. Пархомов В.А., Бородкова Н.Л., Яхнин А.Г., Суворова А.В., Довбня Б.В., Пашинин А.Ю., Козелов Б.В. Глобальный импульсный всплеск геомагнитных пульсаций в частотном диапазоне 0.2–5 Гц как предвестник внезапного начала геомагнитной бури Святого Патрика 17 марта 2015 г. // Космич. исслед. 2017. Т. 55, № 5. С. 323–336.
52. Пархомов В.А., Бородкова Н.Л., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Дмитриев А.В., Чиликин В.Э. Особенности воздействия диамагнитной структуры солнечного ветра на магнитосферу Земли // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 4. С. 47–62.
53. Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Пензин М.С. Исследование особенностей возвратно-наклонного зондирования ионосферы на базе ЛЧМ-ионозонда // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 3. С. 61–69. DOI: 10.12737/szf-33201706. <https://naukaru.ru/en/nauka/article/16161/view>
54. Потапов А.С. Релятивистские электроны внешнего радиационного пояса и методы их прогноза (обзор) // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 46–58. DOI: 10.12737/22210. http://ru.iszf.irk.ru/images/8/81/JSTP_3_1_2017_57-72.pdf; <https://naukaru.ru/en/nauka/journal/48/view>.
55. Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Перевалова Н.П., Добрынина А.А., Саньков А.В., Лебедева М.А. Современные вертикальные движения земной коры Байкальского региона: длительные тренды и временные вариации // Актуальные

- проблемы науки Прибайкалья. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы, 2017. Вып. 2. С. 181–187.
56. Сапунова О.В., Бородкова Н.Л., Еселевич В.Г., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Тонкая структура фронтов межпланетных ударных волн по данным прибора БМСВ эксперимента ПЛАЗМА-Ф // Космич. исслед. 2017. Т. 55, № 6. С. 407–413.
 57. Сдобнов В.Е. Анализ GLE 6 января 2014 г. // Изв. РАН. Сер. физическая. 2017. Т. 81, № 2. С. 140–142.
 58. Семенов А.И., Медведева И.В., Перминов В.И., Железнов Ю.А. Пространственно-временные вариации инфракрасных эмиссий верхней атмосферы. 2. Излучение 15 мкм молекулы двуокиси углерода // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57, № 5. С. 642–646. DOI: 10.7868/S0016794017040162. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30040081>.
 59. Сорокин А.Г., Добрынина А.А. Сравнительный анализ сейсмических и инфразвуковых сигналов при импульсных событиях и землетрясений // Известия ИГУ. Сер. «Науки о Земле». 2017. Т. 20. С. 106–116.
 60. Файнштейн В.Г., Степанян Н.Н., Штерцер Н.И., Руденко Г.В., Егоров Я.И. Волокна различных типов и особенности окружающего их магнитного поля // Изв. Крымской астрофиз. обс. 2016. Т. 112, № 2. С. 107–116.
 61. Фирстова Н.М., Поляков В.И. Структура и физические условия в На-петлях вспышки балла M7.7 // Письма в АЖ. 2017. Т. 43, № 11. С. 845–856.
 62. Хабитуев Д.С., Шпынев Б.Г., Татарников А.В., Щеглова Е.С. Влияние гравитационного прилива Солнца и Луны на динамику параметров атмосферы, ионосферы и океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 5. С. 321–339.
 63. Хорунжев Г.А., Буренин Р.А., Сазонов С.Ю., Амвросов А.Л., Еселевич М.В. Оптическая спектроскопия кандидатов в квазары на $3 < z < 5.5$ из рентгеновского обзора обсерватории ХММ-НЬЮТОН. Далекий рентгеновский квазар на $z = 5.08$ // Письма в АЖ. 2017. Т. 43, № 3. С. 159–169.
 64. Хорунжев Г.А., Буренин Р.А., Еселевич М.В., Сазонов С.Ю. Новости науки // Природа. 2017. № 1(1217). С. 82–88.
 65. Чирик Н.В., Клименко М.В., Клименко В.В., Карпачев А.Т., Ратовский К.Г., Коренькова Н.А. Принципы обработки и отбора данных радиозатменных наблюдений для исследования F2-слоя ионосферы // Химическая физика. 2017. Т. 36, № 12. С. 66–74.
 66. Шиндин А.В., Клименко В.В., Грач С.М., Когогин Д.А., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Сергеев Е.Н. Пространственные характеристики области генерации искусственного свечения ионосферы в линии 630 нм при воздействии радиоизлучением стенда «Сура» // Изв. вузов. Радиофизика. 2017. Т. 60, № 11. С. 949–966.
 67. Шпынев Б.Г., Алсаткин С.С., Хахинов В.В., Лебедев В.П. Исследование реакции ионосферы на продукты горения топлива при работе двигателей транспортных грузовых кораблей серии «Прогресс» по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 88–96. DOI: 10.12737/22812. http://ru.iszf.irk.ru/images/e/ee/JSTP_3_1_2017_114-127.pdf; <https://naukaru.ru/en/nauka/journal/48/view>.
 68. Шпынев Б.Г., Золотухина Н.А., Полех Н.М., Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Белинская А.Ю., Степанов А.Е., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А., Коренькова Н.А., Мелич Й. Исследование ионосферного отклика на сильную геомагнитную бурю в марте 2015 года по данным евразийской цепи ионозондов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 4. С. 235–248. DOI:10.21046/2070-7401-2017-14-4-235-248. <http://jr.rse.cosmos.ru>.
 69. Язев С.А. Наблюдения полного солнечного затмения 9 марта 2016 г. в Индонезии // Земля и Вселенная. 2017. № 1. С. 89–99.

70. Язев С.А. Соседка по Вселенной // Наука из первых рук. 2017. Т. 73, № 1. С. 12–14.
71. Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Иванов В.Б. Определение абсолютного полного электронного содержания по одночастотным спутниковым радионавигационным данным GPS/ГЛОНАСС // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 1. С. 97–103. DOI: 10.12737/23509. http://ru.iszf.irk.ru/images/5/51/JSTP_3_1_2017_128-137.pdf; <https://nauka.ru/en/nauka/journal/48/view>.
72. Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В., Ясюкевич А.С., Воейков С.В., Захаров В.И., Перевалова Н.П., Титков Н.Н. Влияние ионосферной и магнитосферной возмущенности на сбои глобальных навигационных спутниковых систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 1. С. 88–98. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-88-98. http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2017t1/88-98.pdf; <http://jr.rse.cosmos.ru>.
73. Ясюкевич Ю.В., Оводенко В.Б., Мыльникова А.А., Живетьев И.В., Веснин А.М., Едемский И.К., Котова Д.С. Методы компенсации ионосферной составляющей ошибки радиотехнических систем с применением данных полного электронного содержания GPS/ГЛОНАСС // Вестник Поволжского государственного технического университета. Сер. «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы». 2017. № 2(34). С. 19–31. DOI: 10.15350/2306-2819.2017.2.19.
74. Ясюкевич А.С., Черниговская М.А., Мыльникова А.А., Шпынев Б.Г., Хабитуев Д.С. Исследование сезонных вариаций ионосферной возмущенности по данным GPS/ГЛОНАСС над регионами Восточной Сибири и Дальнего Востока // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 4. С. 249–262. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-249-262. <http://jr.rse.cosmos.ru>.

7.2. Статьи в иностранных журналах, включая переводные

1. Abbot B.P., Abbot R., Klunko E., et. al. Multi-messenger observations of a binary neutron star merger // *Astrophys. J. Let.* 2017. V. 848, N 2. P. L12.
2. Ackermann M., Allafort A., Baldini L., Kashapova L.K., et. al. Fermi-LAT observations of high-energy behind-the-limb solar flares // *Astrophys. J.* 2017. V. 835, N 2. P. 219.
3. Altyntsev A.T., Meshalkina N.S., Myshyakov I.I., Pal'shin V., Fleishman G. Flare SOL2012-07-06: On the origin of the circular polarization reversal between 17 GHz and 34 GHz // *Solar Phys.* 2017. V. 292, N 9. id. 137.
4. Antokhina O., Antokhin P.N., Zorkal'tseva O.M., Devyatova E.V. Atmospheric blockings in Western Siberia. Part 1. Detection features, objective criteria, and their comparison // *Russian Meteorology and Hydrology.* 2017. V. 42, N 10. P. 644–652.
5. Antoshkin L.V., Botygina N.N., Bol'basova L.A., Emaleev O.N., Konyaev P.A., Kopylov E.A., Kovadlo P.G., Kolobov D.Y., Kudryashov A.V., Lavrinov V.V., Lavrinova L.N., Lukin V.P., Chuprakov S.A., Selin A.A., Shikhovtsev A.Yu. Adaptive optics system for solar telescope operating under strong atmospheric turbulence // *Atmosph. Oceanic Optics.* 2017. V. 30, N 3. P. 291–299.
6. Berngardt O.I., Perevalova N.P., Podlesny A.V., Kurkin V.I., Zherebtsov G.A. Vertical midscale ionospheric disturbances caused by surface seismic waves based on Irkutsk chirp ionosonde data in 2011–2016 // *J. Geophys. Res.* 2017. V. 122, N 4. P. 4736–4754. DOI: 10.1002/2016JA023511. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016JA023511/full>.
7. Berngardt O. I. Space weather impact on radio device operation // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 3. P. 37–53.
8. Borovik A.V., Zhdanov A. Statistical studies of low-power flares. Distribution of flares by area, brightness, and classes // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 1. P. 40–56.
9. Borovik A.V., Zhdanov A. Statistical research into low-power solar flares. Main phase duration // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 4. P. 5–16.
10. Chertok I.M., Grechnev V.V., Abunin A.A. An early diagnostics of the geoeffectiveness of solar eruptions from photospheric magnetic flux observations: The transition from SOHO to SDO // *Solar Phys.* 2017. V. 292, N 4. P. 62.

11. Churilov S.M., Ermakov A., Stepanyants Y. Wave scattering in spatially inhomogeneous currents // *Phys. Rev. D*. 2017. V. 96, N 6. P. 064016. DOI: 10.1103/PhysRevD.96.064016. <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.96.064016>.
12. Churilov S. M., Ermakov A., Rousseaux G., Stepanyants Y. Scattering of long water waves in a canal with rapidly varying cross-section in the presence of a current // *Phys. Rev. Fluids*. 2017. V. 2, N 9. P. 094805. DOI: 10.1103/PhysRevFluids.2.094805. <https://journals.aps.org/prfluids/abstract/10.1103/PhysRevFluids.2.094805>
13. Demidov M.L. Possibilities and problems of solar magnetic field observations for space weather forecast // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 1. P. 26–39.
14. Dmitriev A.V., Suvorova A., Klimentenko M., Klimentenko V., Ratovsky K.G., Rakhmatulin R.A., Parkhomov V.A. Predictable and unpredictable ionospheric disturbances during St. Patrick's Day magnetic storms of 2013 and 2015 and 8–9 March 2008 // *J. Geophys. Res.* 2017. V. 122, N 2. P. 2398–2423. DOI: 10.1002/2016JA023260. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016JA023260/full>
15. Dovbnya B.V., Klain B.I., Guglielmi A., Potapov A.S. Spectrum of frequency modulation of serpentine emission as a reflection of the solar fluctuation spectrum // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 1. P. 73–77.
16. Eselevich V.G., Borodkova N.L., Eselevich M.V., Zastenker G.N., Nemecek Z., Prech L. Fine structure of the interplanetary shock front according to measurements of the ion flux of the solar wind with high time resolution // *Cosmic Res.* 2017. V. 55, N 1. P. 30–45.
17. Eselevich V.G., Eselevich M.V., Zimovets I.V., Sharykin I.N. Evidence for shock generation in the solar corona in the absence of coronal mass ejections // *Astronomy Rep.* 2017. V. 61, N 9. P. 805–819.
18. Eselevich V.G., Borodkova N.L., Sapunova O.V., Zastenker G.N., Yermolaev Yu.I. Effect of reflected ions on the formation of the structure of interplanetary quasi-perpendicular shocks for Mach numbers lower than the first critical Mach number // *Cosmic Res.* 2017. V. 55, N 6. P. 403–416.
19. Fainshtein V.G., Egorov Ya.I., Rudenko G.V. Variations of the photospheric magnetic field following the eruptive event on June 7, 2011 // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2017. V. 57, N 7. P. 906–915.
20. Firstova N.M., Polyakov V.I. Structure and physical conditions in the H α loops of an M7.7 solar flare // *Astronomy Let.* 2017. V. 43, N 11. P. 768–779.
21. Fleishman G.D., Anfinogentov S., Loukitcheva M., Mysh'yaikov I.I., Stupishin A. Casting the coronal magnetic field reconstruction tools in 3D using MHD Bifrost model // *Astrophys. J.* 2017. V. 839, N 1. id. 30.
22. Ganghua L., Xiao F.W., Xiao Ya., Suo L., Mei Zh., Chang L., Yan Xu, Tlatov A.G., Demidov M.L., Borovik A.V., Golovko A.A. Construction of a century solar chromosphere data set for solar activity related research // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 2. P. 5–8.
23. Goddard C.R., Pascoe D.J., Anfinogentov S., Nakariakov V.M. A statistical study of inferred transverse density profile of coronal loop threads observed with SDO/AIA // *Astron. Astrophys.* 2017. V. 605. P. A65.
24. Golubeva E.M., Mordvinov A.V. Rearrangements of open magnetic flux and formation of polar coronal holes in cycle 24 // *Solar Phys.* 2017. V. 292, N 11. #175.
25. Golubeva E.M., Mordvinov A.V. Correction to: Rearrangements of open magnetic flux and formation of polar coronal holes in cycle 24 // *Solar Phys.* 2017. V. 292, N 12. P. 190.
26. Grechnev V.V., Uralov A.M., Kiselev V., Kochanov A.A. The 26 December 2001 solar event responsible for GLE63.II. Multi-loop structure of microwave sources in a major long-duration flare // *Solar Phys.* 2017. V. 292, N 1. id. 3.
27. Grechnev V.V., Kiselev V., Uralov A.M., Klein K.-L., Kochanov A.A. The 26 December 2001 solar eruptive event responsible for GLE63: III. CME, shock waves, and energetic particles // *Solar Phys.* 2017. V. 292, N 8. id. 102.

28. Grechnev V. V., Kiselev V., Meshalkina N.S., Chertok I.M. Correlation of near-earth proton enhancements 100 MEV with parameters of solar microwave bursts // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 3. P. 3–12.
29. Guglielmi A., Potapov A.S., Influence of the interplanetary magnetic field on ULF oscillations of the ionospheric resonator // *Cosmic Res.* 2017. V. 55, N 4. P. 248–252.
30. Guglielmi A., Potapov A.S. Waves from the Sun: to the 100th anniversary of V.A. Troitskaya's birth // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 3. P. 82–85.
31. Guglielmi A., Klain B.I., Potapov A.S. North-south asymmetry of ultra-low-frequency oscillations of Earth's electromagnetic field // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 4. P. 26–31.
32. Guo Y., Pariat E., Valori G., Anfinogentov S., Chen F., Georgoulis M.K., Liu Y., Moraitis K., Thalmann J.K., Yang S. Magnetic helicity estimations in models and observations of the solar magnetic field. Part III: Twist number method // *Astrophys. J.* 2017. V. 840, N 1. id. 40.
33. Ishin A.B., Perevalova N.P., Voeykov S.V., Khakhinov V.V. First results of registering ionospheric disturbances obtained with SibNet network of GNSS receivers in active space experiments // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 4. P. 74–82.
34. Ishin A.B., Perevalova N.P., Voeykov S.V., Khakhinov V.V. Complex analysis of the ionospheric response to operation of Progress cargo spacecraft according to the data of GNSS receivers in Baikal region // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 4. P. 83–92.
35. Ivanov V.B., Zatolokin D.A., Gorbachev O.A. Comparing models of total electron content in the ionosphere for GLONASS // *Gyroscope and Navigation.* 2017. V. 8, N 4. P. 295–299.
36. Karakhanyan A. A., Molodykh. S.I. Evolution of extratropical cyclones during disturbed geomagnetic conditions // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2017. V. 57, N 5. P. 535–540.
37. Karp M., Shukhman I.G., Cohen J. Evolution of finite - amplitude localized vortices in planar homogeneous shear flows // *Phys. Rev. Fluids.* 2017. V. 2, N 2. P. 024701. DOI: 10.1103/PhysRevFluids.2.024701.<https://journals.aps.org/prfluids/abstract/10.1103/PhysRevFluids.2.024701>
38. Khorunzhev G.A., Burenin R.A., Sazonov S.Yu., Amvrosov A.L., Eselevich M.V. Optical spectroscopy of candidates for quasars at 3z5.5 from the XMM- Newton X-ray survey. A distant X-ray quasar at z // *Astronomy Let.* 2017. V. 43, N 3. P. 135–145.
39. Khorunzhev G.A., Sazonov S.Yu., Burenin R.A., Eselevich M.V. Catalog of 3z5.5 Quazar candidates selected among XMM-Newton sources and its spectrographic verification // *Frontiers in Astronomy and Space Science: Open Access J.* 2017. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspas.2017.00037/full>.
40. Khlystova A.I., Toriumi S. Photospheric velocity structures during the emergence of small active regions on the Sun // *Astrophys. J.* 2017. V. 839, N 1. P. 63.
41. Kitchatinov L.L., Nepomnyashchikh A.A. A joined model for solar dynamo and differential rotation // *Astronomy Let.* 2017. V. 43, N 5. P. 332–342.
42. Kitchatinov L.L., Nepomnyashchikh A.A. How supercritical are stellar dynamos, or why do old main-sequence dwarfs not obey gyrochronology? // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2017. V. 470, N 3. P. 3124–3130.
43. Kitchatinov L.L. Double Holl instability: A catalyzer of magnetic energy release // *Astron. Let.* 2017. V. 43, N 9. P. 624–633.
44. Kichigin G.N., Sdobnov V.E. Geomagnetic cutoff rigidities of cosmic rays in a model of the bounded magnetosphere with the ring current // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2017. V. 57, N 2. P. 132–136.
45. Kichigin G. N., Kravtsova M., Sdobnov V.E. Parameters of current systems in the magnetosphere as derived from observations of cosmic rays during the 2015 June magnetic storm // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 3. P. 13–17.
46. Klimenko M., Klimenko V., Zakharenkova I.E., Ratovsky K.G., Korenkova N.A., Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Cherniak Iu.V. Similarity and differences in morphology and mechanisms of the f0F2 and TEC disturbances during the geomagnetic storms on 26–30 September 2011 // *Annales Geophysicae.* 2017. V. 35, N 4. P. 923–938. <https://doi.org/10.5194/angeo-35-923-2017>.

47. Klimushkin D., Nakariakov V.M., Mager P., Cheremnykh O.K. Corrugation instability of a coronal arcade // *Solar Phys.* 2017. V. 292, N 12. P. 184.
48. Kobanov N.I., Chupin S.A., Chelpanov A.A. On searching for observational manifestations of Alfvén waves in solar faculae // *Astron. Let.* 2017. V. 43, N 12. P. 844–853.
49. Kontar E.P., Perez J.E., Harra L.K., Kuznetsov A.A., Emslie A.G., Jeffrey N.L.S., Bian N.H., Dennis B.R. Turbulent kinetic energy in the energy balance of a solar flare // *Phys. Rev. Let.* 2017. V. 118, N 15. id. 155101.
50. Kontar E.P., Yu S., Kuznetsov A.A., Emslie A.G., Alcock B., Jeffrey N.L.S., Melnik V., Bian, N.H., Subramanian R. Imaging spectroscopy of solar radio burst fine structures // *Nature Communications.* 2017. V. 8. P. 1515. <https://www.nature.com/articles/s41467-017-01307-8>.
51. Korobtsev I.V., Goryashin V., Eselevich M.V. Results of tracking a spacecraft in the vicinity of the L2 libration point of the Sun—Earth system // *Astron. Rep.* 2017. V. 61, N 2. P. 153–159.
52. Kostarev D.V., Mager P. Drift-compressional waves propagating in the direction of energetic electron drift in the magnetosphere // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 3. P. 18–27.
53. Kravtsova M., Sdobnov V.E. Analyzing the June 2015 Forbush effect by the spectrographic global survey // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics.* 2017. V. 81, N 2. P. 177–179.
54. Kravtsova M.V., Sdobnov V.E. Ground level enhancements of cosmic rays in solar cycle 24 // *Astronomy Let.* 2017. V. 43, N 7. P. 501–506.
55. Kulizhsky A.V. Uniform intergal representation for the fluctuating field propagating through the multi-scale media // *Waves in Random and Complex Media.* 2017. V. 27, N 2. P. 289–307.
56. Kurt V.G., Yushkov B.Yu., Galkin V.I., Kudela K., Kashapova L.K. CORONAS-F observation of gamma-ray emission from the solar flare on 2003 October 29 // *New Astronomy.* 2017. V. 56. P. 102–112.
57. Kushnarev D. S., Lebedev V.P., Khakhinov V.V., Evstifeev S.E., Zarudnev V.E. Modernization of the Irkutsk Incoherent Scatter Radar // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 3. P. 76–81.
58. Kuzmenko I.V., Grechnev V.V. Development and parameters of a non-self-similar CME caused by the eruption of a quiescent prominence // *Solar Phys.* 2017. V. 292, N 10. P. 143.
59. Lesovoi S.V., Altyntsev A.T., Kochanov A.A., Grechnev V.V., Gubin A.V., Zhdanov D.A., Uralov A.M., Kashapova L.K., Kuznetsov A.A., Meshalkina N.S., Sych R.A. Siberian Radioheliograph: first results // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 1. P. 3–18.
60. Lesovoi S.V., Kobets V.S. Correlation plots of the Siberian Radioheliograph // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 1. P. 19–25.
61. Lipunov V. M., Kornilov V.G., Gorbovskoy E.S., Buckley D., Yazev S.A., et. al. First gravitational-wave burst GW150914: MASTER optical follow-up observations // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2017. V. 465, N 3. P. 3656–3667.
62. Mager P., Klimushkin D. Non — resonant instability of coupled Alfvén and drift compressional modes in magnetospheric plasma // *Plasma Physics and Controlled Fusion.* 2017. V. 59, N 9. P. 095005. DOI: 10.1088/1361-6587/aa790c. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6587/aa790c/pdf>.
63. Mazur V.A., Chuiko D.A. Energy flux in 2-D MHD waveguide in the outer magnetosphere // *J. Geophys. Res.* 2017. V. 122, N 2. P. 1946–1959. DOI: 10.1002/2016JA023632 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016JA023632/full>.
64. Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Oinats A.V., Alsatkin S.S., Zherebtsov G.A. Relation of internal gravity wave anisotropy with neutral wind characteristics in the upper atmosphere // *J. Geophys. Res.* 2017. V. 122, N 7. P. 7567–7580. DOI: 10.1002/2017JA024103 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2017JA024103/full>.
65. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Comparative analysis of atmospheric and ionospheric variability by measurements of temperature in the mesopause region and peak electron density // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2017. V. 57, N 2. P. 217–228.

66. Metodieva Y., Kuznetsov A.A., Antonova A., Doyle G., Ramsay G., Wu K. Modeling the environment around five ultracool dwarfs via the radio domain // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2017. V. 465, N 2. P. 1995–2009.
67. Mikhalev A.V. [OI] 557.7 nm airglow during seismic events in the Baikal rift zone // *Atmosph. Oceanic Optics.* 2017. V. 30, N 3. P. 243–247.
68. Mishin V.M., Mishin V.V., Lunyushkin S.B., Wang J., Moiseev A.V. 27 August 2001 substorm: Preonset phenomena, two main onsets, field-aligned current systems, and plasma flow channels in the ionosphere and in the magnetosphere // *J. Geophys. Res.* 2017. V. 122, N 5. P. 4988–5007. DOI: 10.1002/2017ja023915. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2017JA023915/full>.
69. Mishin V.V., Karavaev Yu.A. Saturation of the magnetosphere during superstorms: new results from the magnetogram inversion technique // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 3. P. 28–36.
70. Moiseev A.V., Baishev D.G., Mishin V.V., Uozumi T., Yoshikawa A., Du A. Features of formation of small-scale wave disturbances during a sudden magnetospheric compression // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 2. P. 34–42.
71. Morozova A., Kochanov A.A., Sinegovskaya T.S., Sinegovsky S.I. Calculation of atmospheric high-energy neutrino spectra and the measurement data if IceCube and ANTARES experiments // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics.* 2017. V. 81, N 4. P. 516–519.
72. Morozova A., Kochanov A.A., Sinegovskaya T.S., Sinegovsky S.I. The comparison of the calculated atmospheric neutrino spectra with the measurements of the IceCube and ANTARES experiments // *J. Physics: Conference Ser.* 2017. V. 798. P. 012101.
73. Morozova A., Kochanov A.A., Sinegovskaya T.S., Sinegovsky S.I. Influence of hadronic interaction models on characteristics of the high-energy atmospheric neutrino flux // *J. Physics: Conference Series.* 2017. V. 934(1). P. 012008.
74. Nakariakov V.M., Afanasyev A.N., Kumar S., Moon Y.J. Effect of local thermal equilibrium misbalance on long-wavelength slow magnetoacoustic waves // *Astrophys. J.* 2017. V. 849, N 2. id. 62.
75. Parkhomov V. A., Borodkova N.L., Yahnin A.G., Suvorova A., Dovbnya B.V., Pashinin A.Yu., Kozelov B. Global impulse burst of geomagnetic pulsations in the frequency range of 0.2–5 Hz as a precursor of the sudden commencement of St. Patrick's Day 2015 geomagnetic storm // *Cosmic Res.* 2017. V. 55, N 5. P. 307–317.
76. Parkhomov V.A., Borodkova N.L., Eselevich V.G., Eselevich M.V., Dmitriev A.V., Chilikin V.E. Features of the impact of the solar wind diamagnetic structure on Earth's magnetosphere // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 4. P. 44–57.
77. Pascoe D.J., Anfinogentov S., Nistico G., Goddard C.R., Nakariakov V.M. Coronal loop seismology using damping of standing kink oscillations by mode coupling. II. Additional physical effects and Bayesian analysis // *Astron. Astrophys.* 2017. V. 600. P. A78.
78. Pascoe D.J., Goddard C.R., Anfinogentov S., Nakariakov V.M. Coronal loop density profile estimated by forward modeling of EUV intensity // *Astron. Astrophys.* 2017. V. 600. P. L7.
79. Pascoe D.J., Russell A.J., Anfinogentov S., Simoes J.A., Goddard C.R., Nakariakov V.M., Fletcher L. Seismology of contracting and expanding coronal loops using damping of kink oscillations by mode coupling // *Astron. Astrophys.* 2017. V. 607. id. A8.
80. Pipin V.V. Non-linear regimes in mean-field full-sphere dynamo // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2017. V. 466, N 3. P. 3007–3020.
81. Podgorny A.I., Podgorny I.M., Balabin Yu.V., Meshalkina N.S., Vashenyuk E.V. The spectrum of solar relativistic cosmic ray measurements and numerical simulation // *J. Physics: Conference Ser.* 2017. V. 798. P. 012027.
82. Polekh N.M., Zolotukhina N.A., Kurkin V.I., Zherebtsov G.A., Shi J.K., Wang G., Wang Z. Dynamics of ionospheric disturbances during the 17–19 March 2015 geomagnetic storm over East Asia // *Adv. Space Res.* 2017. V. 60, N 11. P. 2454–2476. DOI: 10.1016/j.asr.2017.09.030. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027311771730697X>.
83. Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Radial orbit instability in systems of highly eccentric orbits: Antonov problem reviewed // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2017. V. 470, N 2. P. 2190–2203. DOI: 10.1093/mnras/stx1317. <https://academic.oup.com/mnras/article-abstract/470/2/2190/3858026?redirectedFrom=fulltext>.

84. Polyakov A.R. A method for detecting equidistant frequencies in the spectrum of a wideband signal // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 2017. V. 153. P. 30–40.
85. Ponomarchuk S. N., Kurkin V.I., Penzin M.S. Features of backscatter ionospheric sounding as studied with a chirp ionosonde // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 3. P. 54–60.
86. Potapov A.S. Relativistic electrons of the outer radiation belt and methods of their forecast (review) // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 1. P. 57–72.
87. Potapov A.S., Polyushkina T., Tsegmed B., Oinats A.V., Pashinin A.Yu., Edemskiy I.K., Mylnikova A.A., Ratovsky K.G. Considering the potential of IAR emissions for ionospheric sounding // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 2017. V. 164. P. 229–234. DOI: 10.1016/j.jastp.2017.08.026. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364682616302413>.
88. Ratovsky K.G., Dmitriev A., Suvorova A., Shcherbakov A.A., Alsatkin S.S., Oinats A.V. Comparative study of COSMIC/FORMOSAT-3, Irkutsk Incoherent Scatter Radar, Irkutsk digisonde and IRI model electron density vertical profiles // *Adv. Space Res.* 2017. V. 60, N 2. P. 452–460. DOI: 10.1016/j.asr.2016.12.026. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117716307487>.
89. Rudenko G.V., Anfinogentov S. Algorithms of the potential field calculation in a three-dimensional box // *Solar Phys.* 2017. V. 292, N 8. id. 103.
90. Sapunova O.V., Borodkova N.L., Eselevich V.G., Zastenker G.N., Yermolaev Yu.I. Fine structure of interplanetary shock fronts from the data of the BMSW instrument of the PLASMA-F experiment // *Cosmic Res.* 2017. V. 55, N 6. P. 396–402.
91. Sdobnov V.E. Analysis of ground level enhancement on January 6, 2014 // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics.* 2017. V. 81, N 2. P. 121–123.
92. Semenov A. I., Medvedeva I.V., Perminov V.I. Spatial and temporal variations in infrared emissions of the upper atmosphere. 2. 15-um carbon dioxide emission // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2017. V. 57, N 5. P. 597–601.
93. Sharykin I.N., Sadykov V., Kosovichev A.G., Vargas-Dominguez S., Zimovets I.V. Flare energy release in the lower solar atmosphere near the magnetic field polarity inversion line // *Astrophys. J.* 2017. V. 840, N 2. P. 84.
94. Sharykin I.N., Kosovichev A.G., Sadykov V., Zimovets I.V., Myshyakov I.I. Investigation of relationship between high-energy X-ray sources and photospheric and helioseismic impacts of X1.8 solar flare of 2012 October 23 // *Astrophys. J.* 2017. V. 843, N 1. id. 67.
95. Shiokawa K., Katoh Y., ..., Kurkin V.I., Oinats A.V., Pashinin A.Yu., Vasilyev R.V., Rakhmatulin R.A., Bristow W., Karjala M. Ground-based instruments of the PWING project to investigate dynamics of the inner magnetosphere at subauroral latitudes as a part of the ERG-ground coordinated observation network // *Earth, Planets, Space.* 2017. V. 69. P. 160.
96. Shpynev B.G., Alsatkin S.S., Khakhinov V.V., Lebedev V.P. Investigating the ionosphere response to exhaust products of Progress cargo spacecraft engines on the basis of Irkutsk Incoherent Scatter Radar data // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 1. P. 114–127.
97. Shpynev B.G. Refraction and Faraday rotation in the incoherent scatter radar technique // *Radio Sci.* 2017. V. 52, N 9. P. 1067–1080. DOI: 10.1002/2017RS006273. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2017RS006273/full>.
98. Vasilyev R.V., Globa M.V., Kushnarev D.S., Medvedev A.V., Ratovsky K.G. Spectral characteristics of ionospheric scintillations of VHF radio signal near magnetic zenith // *J. Atm. Sol.-Terr. Phys.* 2017. V. 160. P. 48–55. DOI: 10.1016/j.jastp.2017.05.016. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364682617303437>.
99. Vasilyev R.V., Artamonov M., Beletsky A.B., Zhrebtsov G.A., Medvedeva I.V., Mikhalev A.V., Syrenova T. Registering upper atmosphere parameters in East Siberia with Fabry—Perot interferometer KEO Scientific “ARINAE” // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 3. P. 61–75.
100. Volnova A., Pruzhinskaya M.V., Pozanenko A., Blinnikov S.I., Minaev P., Burkhonov O.A., Chernenko A.M., Ehgamberdiev Sh., Inasaridze R., Jelinek M., Khorunzhev

G.A., Klunko E., Krugly Yu.N., Mazaeva E.D., Rumyantsev V., Volvach A.E. Multicolour modelling of SN 2013dx associated with GRB 130702A // *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* 2017. V. 467, N 3. P. 3500–3512.

101. Wang G.J., Shi J.K., Wang Z., Wang X., Romanova E.B., Ratovsky K.G., Polekh N.M. Solar cycle variation of ionospheric parameters over the low latitude station Hainan, China, during 2002–2012 and its comparison with IRI-2012 model // *Adv. Space Res.* 2017. V. 60, N 2. P. 381–395. DOI: 10.1016/j.asr.2016.12.013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117716307177>.

102. Wang Z., Shi J.K., Wang G., Wang X., Zhrebtsov G.A., Romanova E.B., Ratovsky K.G., Polekh N.M. Diurnal, seasonal, annual, and semi - annual variations of ionospheric parameters at different latitudes in East Asian sector during ascending phase of solar activity // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 2. P. 43–50.

103. Hu Z., Yang K., Zhao J., Zhao Z.J., Kashapova L.K. Homologous circular-ribbon flares driven by twisted flux emergence // *Astrophys. J.* 2017. V. 851, N 1. Art. id 30.

104. Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A., Ivanov V.B. Estimating the absolute total electron content based on single-frequency satellite radio navigation GPS/GLONASS data // *Solar-Terr. Phys.* 2017. V. 3, N 1. P. 128–137.

105. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Obridko V.N., Rudenko G.V. Comparison of the magnetic properties of leading and following spots and the overlying ultraviolet emission // *Astronomy Rep.* 2017. V. 61, N 6. P. 533–549.

106. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Obridko V.N., Rudenko G.V. Comparison of magnetic properties and umbra area of leading and trailing spots with different asymmetries // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2017. V. 57, N 8. P. 946–951.

107. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Rudenko G.V., Obridko V.N. Some features of the variation of the magnetic field characteristics in the umbra of sunspots during flares and coronal mass ejections // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2017. V. 57, N 7. P. 835–840.

108. Zhrebtsov G.A., Ratovsky K.G., Klimenko M., Klimenko V., Medvedev A.V., Alsatkin S.S., Oinats A.V., Lukianova R. Diurnal variations of the ionospheric electron density height profiles over Irkutsk: Comparison of the incoherent scatter radar measurements, GSM TIP simulations and IRI predictions // *Adv. Space Res.* 2017. V. 60, N 2. P. 444–451. DOI: 10.1016/j.asr.2016.12.008. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117716307128>.

109. Zhrebtsov G.A., Kovalenko V.A., Kirichenko K. The role of solar activity in observed climate changes in the 20th century // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2017. V.57, N 6. P. 637–644.

110. Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Kurkin V.I., Rogov D., Romanova E.B., Chelpanov M. Ionospheric effects of St. Patrick's storm over Asian Russia: 17–19 March 2015 // *J. Geophys. Res.* 2017. V. 122, N 2. P. 2484–2504. DOI: 10.1002/2016JA023180. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016JA023180/full>.

7.3. Доклады в сборниках российских конференций

1. Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф., Хамитов И.М., Еселевич М.В., Сюняев Р.А. Оптические наблюдения скоплений галактик из обзора всего неба обсерватории им. Планка // *Всерос. астрон. конф. — 2017 «Астрономия: познание без границ». 7–22 сентября 2017 г., Ялта, Крым: докл. Ялта, 2017.* http://stars.craocrimea.ru/images/vak/VI_Burenin.pdf.

2. Гаращук С.А., Куприянович О.В., Латышева И.В., Латышев С.В. Влияние Азиатского антициклона на погодные аномалии в Иркутской области // *VIII Всерос. научно-практ. конф. «Эколого-географические проблемы регионов России», СГСПУ, г. Самара, 15 января 2017 г.: сб. трудов. Самара: СГСПУ, 2017. С. 71–74.*

3. Голубева Л.В., Латышев С.В., Лощенко К.А., Щерблякин А.С. Метеорологические факторы возникновения лесных пожаров на территории Иркутской области // *VIII Всерос. научно-практ. конф. «Эколого-географические проблемы регионов России», СГСПУ, г. Самара, 15 января 2017 г.: сб. трудов. Самара: СГСПУ, 2017. С. 75–78.*

4. Григорьева С.А., Мышьяков И.И., Лившиц М.А. Токи в активных областях: со-

бытия с регистрацией солнцетрясения // XXI Всерос. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика — 2017»: труды. СПб., 2017. С. 123–126.

5. Демидов М. Л., Григорьев В.М., Ретюнский Л.Б., Скоморовский В.И., Денисенко С.А., Пименов Ю.Д., Липин Н.А. СОЛСИТ-СОЛнечный СИноптический Телескоп для исследования магнетизма Солнца и космической погоды // Всерос. астрон. конф. — 2017 «Астрономия: познание без границ». 7–22 сентября 2017 г., Ялта, Крым: докл. Ялта, 2017. http://stars.craocrimea.ru/images/vak/I_Demidov.pdf.

6. Еселевич М.В., Караваев Ю.С., Тергоев В.И., Коробцев И.В., Клунко Е.В., Цуккер Т.Г., Мишина М.Н., Горяшин В.Е. Применение специализированных оптических телескопов с высокой проникающей способностью для контроля орбит и исследования характеристик космических аппаратов и космического мусора // Материалы III Всерос. науч. конф. «Экология и космос» им. акад. К.Я. Кондратьева. 8–9 февраля 2017 г., СПб., ВКА им. А.Ф. Можайского. СПб., 2017. С. 321–327. http://academy-mozhayskogo.ru/conferences/konf_2017/k_14/k14_sb_tr/.

7. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Сравнение особенностей формирования корональных выбросов массы, имеющих разную скорость в поле зрения коронографов LASCO // XXI Всерос. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика — 2017»: труды. СПб, 2017. С. 149–152.

8. Клочек Н.В., Машнич Г.П., Никонова М.В. Эксперимент по квазиоптической регистрации терагерцового излучения Солнца в Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН // XXI Всерос. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика — 2017»: труды. СПб., 2017. С. 187–190.

9. Подгорный А. И., Подгорный И.М., Мешалкина Н.С. Конфигурация магнитного поля в короне во время солнечной вспышки и вспышечные источники рентгеновского излучения // Всерос. астрон. конф. — 2017 «Астрономия: познание без границ». 7–22 сентября 2017 г., Ялта, Крым: докл. Ялта, 2017. http://stars.craocrimea.ru/images/vak/IV_PodgornyAI.pdf.

10. Подлесный А.В. Перспективы использования ЛЧМ-сигналов для зондирования внешней ионосферы // Всерос. молодежная научно-практ. конф. «"Орбита молодежи" и перспективы развития российской космонавтики». Томск, 18–22 сентября 2017 г.: сб. докладов. Томск, 2017. С. 41–42.

11. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И., Загайнова Ю.С. Кинематика КВМ и связанных ударных волн по данным LASCO: сравнительный анализ // XXI Всерос. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика — 2017»: труды. СПб., 2017. С. 345–348.

12. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И. Рождение ударной волны, связанной с КВМ, в поле зрения коронографа LASCO C3 // XXI Всерос. ежегодная конф. «Солнечная и солнечно-земная физика — 2017»: труды. СПб., 2017. С. 341–344.

13. Шиховцев М.Ю., Шиховцев А.Ю. Региональные последствия в Байкальском регионе как отклик на глобальное изменение климата // Материалы междунар. научно-практ. конф. «Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития». Иркутск, 25–29 сентября 2017 г. Иркутск: ИГУ, 2017. С. 239–243.

14. Щерблякин А.С., Латышев С.В. Динамика средней скорости ветра вблизи тропопавзы в районе аэродрома Иркутск // Материалы междунар. научно-практ. конф. «Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития». Иркутск, 25–29 сентября 2017 г. Иркутск: ИГУ, 2017. С. 244–250.

7.4. Доклады в сборниках международных конференций

1. Antokhina O., Antokhin P.N., Devyatova E.V., Mordvinov V.I. Peculiarities of the atmospheric blocking events over the Siberia and Russian Far East region during summertime // Proc. 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104665V. Proc. SPIE. V. 10466.

2. Antokhina O., Devyatova E.V., Antokhin P.N., Martynova Y.V. Wintertime atmosphere blocking events in Western Siberia in the period 2004–2016 and their connection with anomalies of surface temperature // Proc. the 2nd International Electronic Conference on Atmospheric Sciences. Sciforum Electronic Conference Ser. 2017. V. 2. <http://sciforum.net/conference/ecas2017/paper/4127>.
3. Burenin R.A., Revtitssev M.G., Tkachenko A., Vorobyev V.G., Semena A.N., Meshcheryakov A., Dodonov S., Eselevich M.V., Pavlinsky M.N. A sample of cataclysmic variables from the 400d X-ray survey // Proc. Conf. “Stars: From Collapse to Collapse”. SAO, Nizhny Arkhyz, Russia, 3–7 October 2016. San Francisco: ASP, 2017. V. 510. P. 461–465. (Astron. Soc. of the Pacific Conf. Ser.).
4. Chelpanov M., Mager O.V., Mager P., Klimushkin D. Berngardt O.I. Simultaneous observations of drift compressional waves in the magnetosphere using an Ekaterinburg coherent decameter radar and spacecraft measurements // The 40th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”, Apatity, 13–17 March 2017: proceedings. 2017. P. 62–65.
5. Golovko A.A., Batmunkh D. Dynamic phenomena in the active regions of 24th solar cycle // Proc. the International Conference on Astronomy and Geophysics in Mongolia – 2017. Ulaanbaatar, Mongolia, 20–22 July 2017: Extended Abstract V. Ulaanbaatar, 2017. P. 26–30.
6. Guglielmi A., Potapov A.S. Propagation of guided wave in moving media with application to the theory of small-scale electromagnetic waves in the solar wind plasma // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. 2017. P. 1051–1054. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
7. Edemsky I.K. The dynamics of ionosphere disturbance level during 94-04 and its response to a global leap of geophysical parameters at 1997 // Proc. 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104667H. Proc. SPIE. V. 10466.
8. Ishin A.B., Voeykov S.V. Determination of the ionospheric response parameters to the engine operation of spaceship Progress according to GNSS data // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104667K. Proc. SPIE. V. 10466.
9. Ishin A.B., Voeykov S.V., Perevalova N.P., Berngardt O.I. Registration of ionospheric response to operation of the engine of spacecraft “Progress” according to GNSS data // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 2365–2369. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
10. Ivanova V.A., Kurkin V.I., Poddelsky I.N. Geophysical conditions for round-the-world propagation of HF radio signals // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1970–1972. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
11. Ivanova V.A., Kurkin V.I., Podlesny A.V., Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kim A.G., Dumbrava Z.F., Poddelsky I.N., Poddelsky A.I. Large-scale traveling ionospheric disturbances registered using oblique-incidence sounding over North Eastern region of Russian Federation // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1316–1321. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
12. Ivanova V.A., Kurkin V.I., Chistyakova L.V., Podlesny A.V., Ponomarchuk S.N., Poddelsky I.N., Poddelsky A.I. Peculiarities of decameter radio wave propagation over high — latitude paths using data of LFM ionosondes network // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1981–1984. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
13. Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Humidity change with height in cyclones under external impacts // Proc. 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104665C. Proc. SPIE. V. 10466.

14. Konyaev P.A., Kopylov E.A., Kovadlo P.G., Lukin V.P., Selin A.A., Shikhovtsev A.Yu. Works on a set of data measuring turbulence in different seasons of the year // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 10466ON. Proc. SPIE. V. 10466.
15. Kotova D., Ovodenko V.D., Yasyukevich Yu.V., Klimenko M., Mylnikova A.A., Kozlovsky A. Correction of the NeQuick model at high — latitude using TEC data for HF radio wave propagation problem // The 40th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", Apatity, 13–17 March 2017: proc. 2017. P. 120–124.
16. Kovadlo P.G., Kolobov D.Y., Lukin V.P., Nosov V.V., Eselevich M.V., Kopylov E.A., Shikhovtsev A.Yu., Avdeev F.A. On the spectral composition of atmospheric turbulent optical distortions from observations on solar telescopes // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 10466OU. Proc. SPIE. V. 10466.
17. Kurkin V.I., Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Rogov D., Romanova E.B., Chelpanov M. Ionospheric disturbances during 17–19 March 2015 magnetic storm over Northern Region of Russia // Proc. "Progress in Electromagnetics Research Symposium" (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1985–1989. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
18. Kurkin V.I., Laryunin O.A., Podlesny A.V., Pezhemskaya M.D. Observations of traveling ionospheric disturbances on the basis of vertical and near - vertical sounding data // Proc. "Progress in Electromagnetics Research Symposium" (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1966–1969. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
19. Laryunin O.A. Ray paths for radio waves traveling through cosine ionospheric layer // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104665X. Proc. SPIE. V. 10466.
20. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Manifestations of minor and final stratospheric warmings in the MLT and F2- region // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104665U. Proc. SPIE. V. 10466.
21. Mylnikova A.A., Yasyukevich Yu.V., Ivanov V.B. Determining the absolute total electron content from the single-frequency GPS/GLONASS data // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104667I. Proc. SPIE. V. 10466.
22. Mylnikova A.A., Yasyukevich Yu.V., Ivanov V., Yasyukevich A. Estimating the absolute total electron content from the single-frequency GPS/GLONASS data // Proc. "Progress in Electromagnetics Research Symposium" (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 3036–3040. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
23. Penzin M.S., Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kurkin V.I. The program complex for interpretation of ionospheric backscatter sounding data // Proc. URSI 2017 GASS. XXXII URSI General Assembly and Scientific Symposium. 19–26 August 2017, Montreal, Canada. Montreal, 2017. http://www.ursi.org/proceedings/procGA17/papers/Paper_G35P-4%282115%29.pdf.
24. Penzin M.S., Ilyin N.V., Ponomarchuk S.N. Advanced model of HF radio waves propagation based on normal wave method // Proc. "Progress in Electromagnetics Research Symposium" (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1291–1297. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
25. Ponomarchuk S.N., Kim A.G., Kotovich G.V., Penzin M.S. The determination of ionosphere parameters on the base of backscatter sounding data // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104665W. Proc. SPIE. V. 10466.
26. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kotovich G.V., Kurkin V.I., Penzin M.S. The real-time forecast of HF radio channel on the base of backscatter sounding data // Proc. "Progress in

- Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1973–1980. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
27. Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Penzin M.S. The research of backscatter ionosphere sounding features on the base of chirp ionosonde // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1309–1315. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
 28. Potapov A.S., Polyushkina T., Tsegmed B., Oinats A.V., Pashinin A.Yu., Edemsky I.K., Mylnikova A.A., Ratovsky K.G. Searching for an alternative method of the ionosphere monitoring // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1055–1059. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
 29. Rakhmatulin R.A., Lipko Yu.V., Pashinin A.Yu., Aleshkov V.M. The monitoring of geomagnetic field in the Baikal–Hubsugul fault in 2010–2015 // Proc. The International Conference on Astronomy and Geophysics in Mongolia 2017. 20–22 July 2017, Ulaanbaatar, Mongolia: Extended Abstract V. Ulaanbaatar, 2017. P. 63.
 30. Rakhmatulin R.A., Lipko Yu.V., Pashinin A.Yu., Aleshkov V.M. Geophysical complex ISTP SB RAS for monitoring electromagnetic fields in high and middle latitudes // Proc. The International Conference on Astronomy and Geophysics in Mongolia 2017. 20–22 July 2017, Ulaanbaatar, Mongolia: Extended Abstract V. Ulaanbaatar, 2017. P. 64.
 31. Ratovsky K.G., Klimenko M., Abdullaev A., Markov A., Korenkova N.A. Estimation of solar and geomagnetic activity contribution in solar cycle variations of median peak electron density N_mF2 // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 2140–2144. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
 32. Semenov A.I., Medvedeva I.V., Perminov V.I., Khomich V. Spatio-temporal variations in characteristics of the IRemissions of atomic oxygen and of carbon dioxide in the upper atmosphere // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 1046663. Proc. SPIE. V. 10466.
 33. Setov A., Medvedev A.V., Lebedev V.P., Kushnarev D.S., Alsatkin S.S., Tashlykov V.P. Calibration methods for absolute measurements at the Irkutsk incoherent scatter radar // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104665Y. Proc. SPIE. V. 10466.
 34. Shi J.K., Wang Z., Torkar K., Zharebtsov G.A., Ratovsky K.G., Romanova E.B. Study on plasma blob to result in radio signal scintillations in low latitude ionosphere // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 2004–2007. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
 35. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Lukin V.P., Kiselev A.V. Dynamics of the refractive properties of the atmosphere at the Big solar vacuum telescope site: new calculating method // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 10466OT. Proc. SPIE. V. 10466.
 36. Shpynev B.G., Zharebtsov G.A., Kushnarev D.S., Alsatkin S.S., Khabituiev D.S., Voronov A.L. Expanding the diagnostic capabilities of Incoherent scatter radar technique // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1996–2003. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?Punumber=8253405>.
 37. Shpynev B.G., Chernigovskaya M. A. Sources of longitudinal variations in high – middle latitude ionosphere over Eurasia // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1990–1995. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.
 38. Tashlykov V.P., Medvedev A.V. Development of the technique for determination of plasma temperatures subject to Faraday effect for Irkutsk incoherent scatter radar // 23rd Interna-

tional Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 10466U. Proc. SPIE. V. 10466.

39. Tkachev I., Vasilyev R.V., Mikhalev A.V., Podlesny S., Setov A. Recording optical flashes in the night atmosphere from CCD photometer // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 1046648. Proc. SPIE. V. 10466.

40. Wang Z., Shi S., Wang G., Wang X., Ratovsky K.G., Romanova E.B. Strong range SF observed in low latitude ionosphere over Ascension IS in Atlantic ocean // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 1879–1883. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.

41. Yasyukevich A., Yasyukevich Yu.V. Ionospheric variations during typhoons of autumn 2016 // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104667L. Proc. SPIE. V. 10466.

42. Yasyukevich Yu.V., Zhivet'ev I.V., Yasyukevich A., Voeykov S.V., Zakharov V.I., Perevalova N.P., Titkov N.N. Ionosphere and magnetosphere disturbance impact on operation slips of Global navigation satellite systems at mid- and high- latitudes // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104667M. Proc. SPIE. V. 10466.

43. Yasyukevich A., Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A. Regular TEC variations in mid – latitude and polar regions // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 30–33. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.

44. Yasyukevich A., Chernigovskaya M. A., Mylnikova A.A., Shpynev B.G., Khabituiev D.S. Seasonal and helio – geomagnetic activity pattern of the ionospheric variability over Russia's Eastern Siberia and Far East Region from the GPS/GLONASS data // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 2015–2022. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.

45. Zakharov V.I., Yasyukevich Yu.V., Pronin V.E. The method to use GPS observations for statistical evaluation of the diagnostic slips level of total electron content at different latitudes // Proc. “Progress in Electromagnetics Research Symposium” (PIERS-2017). May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia. P. 695–698. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=8253405>.

46. Zuev A., Ivanov V., Ivanov D.V., Ryabova N.V., Ryabova M.I., Voeykov S.V., Yasyukevich Yu.V. The comparative analysis of the intensity of the total electron content of the ionosphere variations above Yoshkar-Ola and Irkutsk cities // 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmosphere Physics. Irkutsk, Russia, 3–7 July 2017. Bellingham, WA: SPIE, 2017. P. 104667D. Proc. SPIE. V. 10466.

47. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В., Мордвинов В.И. Особенности развития процессов летнего атмосферного блокирования на территории Сибири и Дальнего Востока в летний период // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D337–D340. CD-ROM.

48. Артамонов М.Ф., Васильев Р.В. Моделирование изображений интерферометра ФАБРИ-ПЕРО КЕО SCIENTIFIC “ARINAE” // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D256–D261. CD-ROM.

49. Балыбина А., Караханян А.А. Динамика индекса континентальности климата на территории Предбайкалья // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D440–D443. CD-ROM.

50. Васильев Р.В., Михалев А.В., Медведева И.В., Жеребцов Г.А., Белецкий А.Б., Артамонов М.Ф., Сыренова Т.Е. Регистрация ветра и температуры верхней атмосферы в Восточной Сибири при помощи интерферометра Фабри–Перо KEO Scientific “ARINAE” // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D64–D68. CD-ROM.

51. Васильев Р.В., Клименко М.В., Клименко В.В. Некоторые особенности поведения скорости горизонтального ветра на высотах верхней атмосферы зимой в Восточной Сибири // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D252–D255. CD-ROM.

52. Васильев Р.В., Михалев А.В., Жеребцов Г.А., Медведева И.В. Температура и ветер в верхней атмосфере в регионе Восточной Сибири по данным интерферометрических измерений // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D305–D308. CD-ROM.

53. Глоба М.В., Васильев Р.В., Ясюкевич Ю.В. Одновременные наблюдения ионосферных мерцаний в метровом и дециметровом диапазоне в направлении магнитного зенита // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E81–E84. CD-ROM.

54. Глоба М.В., Васильев Р.В., Ясюкевич Ю.В. Одновременные наблюдения ионосферных мерцаний в метровом и дециметровом диапазонах в направлении магнитного зенита // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 92–94.

55. Demyanov V.V., Yasyukevich Yu.V., Jin S. Detection of small-scale ionospheric irregularities using GNSS phase second-order derivative // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E89. CD-ROM.

56. Добрынин В.А., Сорокин А.Г. О применении микроконтроллеров в регистрации инфразвуковых волн // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых "Взаимодействие полей и излучения с веществом". 11–16 сентября 2017 г., Иркутск. Иркутск, 2017. С. 255–257.

57. Егоров Я.И., Файнштейн В.Г. Генерация ударной волны, связанной с КВМ, в поле зрения коронографа LASCO C3 // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 12–14.

58. Едемский И.К. Динамика ионосферы по данным ПЭС на интервале 1994–2004 гг. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E57–E60. CD-ROM.

59. Золотухина Н.А., Куркин В.И., Полех Н.М. Ионосферные возмущения, вызванные комплексной межпланетной структурой над Восточной Азией: декабрь 2015 г. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D489–D492. CD-ROM.

60. Зоркальцева О.С., Мордвинов В.И. Изучение динамических процессов в стратосфере во время внезапных стратосферных потеплений с использованием нелинейной баротропной дивергентной модели циркуляции // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимо-

действие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 258–260.

61. Ишин А.Б., Воейков С.В. Определение параметров ионосферного отклика на включение двигателей космического корабля «Прогресс» по данным ГНСС // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E85–E88. CD-ROM.

62. Караханян А.А., Молодых С.И. Изменение влажности с высотой в циклонах при внешнем воздействии // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D540–D543. CD-ROM.

63. Кириченко К.Е., Белоусова Е.П., Коваленко В.А., Молодых С.И. Изменения гидрометеорологических характеристик в тихоокеанском регионе в период климатического сдвига 1976–1977 // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 264–266.

64. Киселев В. И., Гречнев В.В., Кочанов А.А., Уралов А.М. Выход ускоренных протонов в солнечных эруптивных событиях // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 19–21.

65. Клименко М.В., Клименко В.В., Захаренкова И.Е., Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С., Чирик Н.В., Ратовский К.Г. Использование данных приемников сигналов ГНСС и моделей верхней атмосферы для излучения глобальной структуры ионосферы в спокойных условиях и во время магнитосферных и атмосферных возмущений // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E29–E32. CD-ROM.

66. Кобец В.С., Лесовой С.В. Анализ помех, влияющих на данные Сибирского Радиогелиографа // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 28–29.

67. Ковадло П.Г., Коняев П.А., Копылов Е.А., Лукин В.П., Селин А.А., Шиховцев А.Ю. Работы по набору данных измерения турбулентности в различные сезоны года // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. B151–B154. CD-ROM.

68. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Лукин В.П. О динамике преломляющих свойств атмосферы в месте расположения Большого солнечного вакуумного телескопа // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. B164–B167. CD-ROM.

69. Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Лукин В.П., Носов В.В., Еселевич М.В., Копылов Е.А., Шиховцев А.Ю., Авдеев Ф.А. О спектральном составе атмосферных турбулентных оптических искажений по наблюдениям на солнечных телескопах // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. B168–B171. CD-ROM.

70. Ковязина Н.А., Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В. Глобальная структура ионосферных возмущений по данным GPS/ГЛОНАСС во время магнитных бурь 5–6 августа 2011 г. и 24–25 октября 2011 г. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E13–E16. CD-ROM.

71. Кондратьев А.Б., Пенских Ю.В., Лунюшкин С.Б. Автоматизированный метод определения границ аврорального овала на основе техники инверсии магнитограмм //

Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 107–112.

72. Костарев Д.В., Магер П.Н. Дрейфово-компрессионные волны, распространяющиеся в направлении дрейфа энергичных электронов в магнитосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 113–116.

73. Котова Д.С., Оводенко Д.С., Ясюкевич Ю.В., Клименко М.В., Мыльникова А.А., Козловский А.Е. Апробация метода коррекции модели ионосферы по данным приемников сигналов ГНСС в высокоширотном регионе // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E41–E44. CD-ROM.

74. Котова Д.С., Оводенко Д.С., Ясюкевич Ю.В., Клименко М.В., Мыльникова А.А., Ратовский К.Г. Апробация метода коррекции модели ионосферы по данным приемников сигналов ГНСС в Сибирском регионе // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 117–119.

75. Кудрявцева А.В., Просовецкий Д.В. Корональные полярные джеты по данным STEREO в период с 2009 по 2014 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 30–32.

76. Куркин В.И., Медведева И.В., Чистякова Л.В., Подлесный А.В., Орлов А.И., Пономарчук С.Н., Науменко А.А., Думбрава З.Ф., Поддельский И.Н., Татарников, А.В. Исследование среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений в Азиатском регионе России во время внезапного стратосферного потепления 2016 г. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D60–D63. CD-ROM.

77. Кушнарченко Г.П., Кузнецова Г.М., Яковлева О.Е. Электронная плотность на высотах ионосферного слоя F1 на станции Иркутск // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D118–D121. CD-ROM.

78. Кушнарченко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Годовые изменения электронной концентрации в период подъема и максимума солнечной активности (2010–2014 гг.) на ионосферной ст. Иркутск // XV Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы современной науки». Москва, Россия, 25 марта 2017 г.: Сб. статей. М.: ISI Journal, 2017. С. 46–50. http://isi-journal.org/wp-content/uploads/2016/02/ISI-15_web.pdf.

79. Лавыгин И.А., Лебедев В.П., Гркович К.В., Бернгардт О.И. Исследование тонкой структуры сигналов обратного рассеяния по данным радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 184–186.

80. Ларюнин О.А., Куркин В.И., Салимов Б.Г., Подлесный А.В., Бернгардт О.И. Статистическое исследование летних аномальных отражений ионосферы на основе данных Иркутского ЛЧМ-ионозонда 2012–2016 гг. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D134–D137. CD-ROM.

81. Ларюнин О.А. Лучевые траектории при распространении радиоволн в косинусном слое ионосферной плазмы // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и

океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D138–D141. CD-ROM.

82. Медведев А.В., Ратовский К.Г., Толстиков М.В., Алсаткин С.С. Исследование ветровой фильтрации внутренних гравитационных волн по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния и ионозонда DPS-4 // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D151–D154. CD-ROM.

83. Медведев А.В., Ратовский К.Г., Толстиков М.В. Внутренние гравитационные волны в верхней атмосфере Земли // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. P1. CD-ROM.

84. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Проявление эффектов минорного и финального стратосферных потеплений на высотах мезопаузы-нижней термосферы (МНТ) и F2- слоя ионосферы // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D86–D89. CD-ROM.

85. Михалев А.В. Излучение верхней атмосферы в эмиссии [OI] nm в периоды экстремальных событий Эль-Ниньо/Ла-Ниньо в 23–24 солнечных циклах // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D301–D304. CD-ROM.

86. Морозова А.Д., Кочанов А.А., Синеговская Т.С., Синеговский С.И. Флейворные и зарядовые отношения атмосферных нейтрино высоких энергий // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 46–49.

87. Мыльников А.А., Ясюкевич Ю.В., Иванов В.Б. Определение абсолютного полного электронного содержания по одночастотным GPS/ГЛОНАСС данным // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E53–E56. CD-ROM.

88. Мыльников А.А., Ясюкевич Ю.В., Иванов В.Б. Получение абсолютного полного электронного содержания по одночастотным данным глобальных навигационных спутниковых систем // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 126–128.

89. Науменко А.А., Подлесный А.В. Модернизация передающего и приемного оборудования сети ЛЧМ-зондирования // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 279–281.

90. Непомнящих А.А., Кичатинов Л.Л., Объединенная модель динамо и дифференциального вращения // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 50–52.

91. Непомнящих И.И., Едемский И.К. Наблюдение локализованных повышений ПЭС по данным глобальных ионосферных карт // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 95–97.

92. Пенских Ю.В. Группировка больших объемов информации по вычисляемым признакам с помощью реляционных баз данных // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Вза-

имодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 197–199.

93. Перевалова Н.П., Жеребцов Г.А. Регистрация по данным GPS/ГЛОНАСС отклика ионосферы на первый запуск ракеты с космодрома Восточный // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E5–E8. CD-ROM.

94. Подлесный А.В. ЛЧМ-приемник с использованием программно-определяемых систем // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 200–202.

95. Пономарчук С.Н., Ким А.Г., Котович Г.В., Пензин М.С. Определение параметров ионосферы по данным возвратно-наклонного зондирования // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D77–D81. CD-ROM.

96. Романов К.В., Романов Д.В., Еселевич М.В. Генерация ударных МГД-волн в верхних слоях солнечной хромосферы магнитными полями, всплывающими с подфотосферного уровня // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 65–68.

97. Рубцов А.В., Магер П.Н., Чуйко Д.А., Климушкин Д.Ю. Ультранизкочастотные компрессионные колебания в магнитосфере. Анализ данных спутниковой системы THEMIS // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 139–141.

98. Семенов А.И., Медведева И.В., Перминов В.И., Хомич В.Ю. Эмпирическая модель вариаций инфракрасного излучения 15 мкм молекулы двуокиси углерода // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D366–D369. CD-ROM.

99. Сетов А.Г., Медведев А.В., Лебедев В.П., Кушнарев Д.С., Алсаткин С.С., Ташлыков В.П. Методы калибровки для обеспечения абсолютных измерений на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D251. CD-ROM.

100. Сетов А.Г., Лебедев В.П., Медведев А.В., Кушнарев Д.С. Абсолютные изменения мощности на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 142–145.

101. Смольков Г.Я. Внешние причины изменчивости атмосферы и климата // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D94. CD-ROM.

102. Сорокин А.Г. О нештатной ситуации на космическом корабле «Прогресс-МС04» в декабре 2016 г. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. D263–D266. CD-ROM.

103. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Ташилин М.А., Михалев А.В., Подлесный С.В. Вариации излучения высоко- и среднеширотной верхней атмосферы в периоды высокой геомагнитной активности // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 290–292.

104. Сыроватский С.И., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М. Измерение мерцаний навигационного сигнала с использованием оборудования NOVALEL GPStation-6 на средних широтах // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 146–148.

105. Ташлыков В.П., Медведев А.В. Разработка метода определения температур ионосферной плазмы с учетом эффекта Фарадея для Иркутского радара некогерентного рассеяния // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. В13–В18. CD-ROM.

106. Ташлыков В.П., Медведев А.В. Определение температур ионосферной плазмы на основе модели сигнала некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 214–218.

107. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Михалев А.В., Подлесный С.В., Сетов А.Г. Статистические характеристики вспышек в атмосфере Земли в средних широтах по данным ПЗС фотометра // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. С96–С100. CD-ROM.

108. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Михалев А.В., Подлесный С.В., Сетов А.Г. Регистрация оптических вспышек в атмосфере Земли в средних широтах с помощью ПЗС-фотометра // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 293–296.

109. Федоров Р.Р., Бернгардт О.И. Метеорные наблюдения на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 221–222.

110. Федотова А.Ю., Алтынцев А.Т., Лесовой С.В., Кочанов А.А. Первые наблюдения эруптивного протуберанца, зарегистрированного Сибирским радиогелиографом, в диапазоне частот 4–8 ГГц // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 79–82.

111. Челпанов М.А., Магер О.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю., Бернгардт О.И. Наблюдения длинопериодных пульсаций в ночной магнитосфере с помощью Екатеринбургского когерентного среднеширотного радара // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 152–154.

112. Чуйко Д.А. Влияние альфвеновского резонанса на основную моду, генерируемую неустойчивостью на магнитопаузе // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 161–163.

113. Шагимурастов И.И., Едемский И.К. Реакция ТЕС ионосферы над Европой на магнитную бурю 2 октября 2013 года по GPS/ГЛОНАСС измерениям // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. С96–С100. С. E108–E113. CD-ROM.

114. Шиховцев А.Ю., Коваadlo П.Г., Лукин В.П., Киселев А.В. О динамике эффективной скорости атмосферных турбулентных течений в горных районах юга Восточной

Сибири // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 300–301.

115. Яковлева О.Е., Кушнарченко Г.П., Кузнецова Г.М. Электронная концентрация на высотах слоя F1 в минимуме солнечной активности над Норильском // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 302–304.

116. Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В., Ясюкевич А.С., Воейков С.В., Захаров В.И., Перевалова Н.П., Титков Н.Н. Влияние ионосферной и магнитосферной возмущенности на сбои глобальных навигационных спутниковых систем // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E33–E36. CD-ROM.

117. Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В. Ионосферные вариации во время действия тайфунов осени 2016 г. по данным GPS/ГЛОНАСС // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E37–E40. CD-ROM.

118. Ясюкевич А.С., Черниговская М.А., Мыльникова А.А., Шпынев Б.Г. Сезонные вариации волновой возмущенности ионосферы по данным GPS/ГЛОНАСС над Восточно-сибирским регионом // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. E104–E107. CD-ROM.

119. Ясюкевич Ю.В., Перевалова Н.П., Воейков С.В. Исследования верхней атмосферы с помощью ГНСС в ИСЗФ СО РАН // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, Россия, 3–7 июля 2017 г.: Материалы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. P21–P24. CD-ROM.

120. Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В. Глобальное электронное содержание в 23 и 24 циклах солнечной активности // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 164–166.

121. Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В., Шабалин А.С., Едемский И.К., Лебедев В.П., Воейков С.В., Веснин А.М. Система сбора и хранения данных ГНСС-Rinex и полного электронного содержания // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды. Иркутск, Россия. 11–16 сентября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 167–169.

7.5. Тезисы докладов на российских конференциях

1. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Девятова Е.В., Мартынова Ю.В., Мордвинов В.И., Фофанов А.В. Летнее атмосферное блокирование в Сибири и связанные с ним экстремальные погодные явления // Фундаментальные проблемы экологии России. Всерос. науч. конференция, 25 июня — 01 июля 2017 г., Иркутск, п. Листвянка (оз. Байкал): тез. докл. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы, 2017. С. 7. <http://isc.irk.ru/ru/conferences/ecology2017>.

2. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В., Мордвинов В.И. Типы атмосферного блокирования, обуславливающие дипольное колебание осадков Монголия — Восточная Сибирь в летний период // XII Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу. Томск, 17–20 октября 2017 г.: тез. докл. Томск, 2017. С. 15–16. <http://www.imces.ru/index.php?rm=news&action=view&id=743>.

3. Афанасьев А.Н., Егоров Я.И. Моделирование формирования и распространения корональной ударной волны, связанной с корональным выбросом // Всерос. ежегодная

конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 14.

4. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Михалев А.В., Когогин Д.А. Вариации интенсивности атмосферных эмиссий на высотах мезосферы и термосферы в периоды высокой геомагнитной активности // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 441. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

5. Бернгардт О.И., Гркович К.В., Федоров Р.Р. Анализ проблемы разделения сигналов возвратно-наклонного и ионосферного рассеяния на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН с повышенным спектральным разрешением // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 147. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

6. Бернгардт О.И., Кутелев К.А. Предварительный морфологический анализ ионосферных эффектов во время солнечных вспышек по данным радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 178. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

7. Бернгардт О.И., Куркин В.И., Лебедев В.П., Гркович К.В., Кушнарев Д.С., Кутелев К.А. Автоматическая система круглосуточного мониторинга характеристик радиоавроры по данным коротковолнового радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН // V Всерос. научно-техн. конференция «РТИ СИСТЕМЫ ВКО – 2017». 25 мая 2017 г., Москва: тез. докл. М., 2017. С. 18. http://www.oaorti.ru/upload/%D0%92%D0%9A%D0%9E_2017.pdf.

8. Бородкова Н.Л., Еселевич В.Г., Сапунова О.В., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. Влияние отраженных ионов на формирование структуры межпланетных квазиперпендикулярных ударных волн при числах Маха меньше первого критического числа Маха // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 102. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

9. Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф., Хамитов И.М., Еселевич М.В., Сюняев Р.А. Оптические наблюдения скоплений галактик из обзора всего неба обсерватории им. Планка // Всерос. астрон. конф. – 2017 «Астрономия: познание без границ». 7–22 сентября 2017 г., Ялта, Крым: сб. тезисов докл. Ялта, 2017. С. 174. [http://onlinereg.ru/VAK-2017;](http://onlinereg.ru/VAK-2017;http://stars.craocrimea.ru/images/vak/abstracts.pdf) http://stars.craocrimea.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=162&lang=ru.

10. Васильев Р.В., Белецкий А.Б., Богомолов А.В., Казначеева М.А., Климов П.А., Комарова Е.С., Михалев А.В., Рахматулин Р.А., Тащилин М.А., Ткачев И.Д. Координированные наблюдения спутниковыми и наземными средствами быстрых оптических явлений в верхней атмосфере Земли // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 164. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

11. Вилор Н.В., Вилор М.А., Сычев В.Ю., Блинов А.В., Жуков А.В. Дистанционное зондирование Земли на трассах термоактивных поверхностных геоструктур // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

12. Воейков С.В., Ишин А.Б. Зависимость амплитуды вариаций ПЭС от угла места на спутник в различных геофизических условиях по данным GPS/ГЛОНАСС // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 445. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

13. Головкин А.А., Салахутдинова И.И. Выявление новых магнитных потоков на Солнце по магнитограммам полного вектора // Двенадцатая ежегодная конференция «Фи-

зика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 6. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

14. Григорьева И.Ю., Лившиц М.А., Мышьяков И.И. Роль токов в возникновении мощного импульсного выделения энергии // Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 33.

15. Гульельми А., Потапов А.С., Довбня Б.В. и др. Граница Мохо как регулятор сейсмической активности в зоне субдукции // Четвертая Всерос. конф. с междунар. участием «Триггерные эффекты в геосистемах». 6–9 июня 2017, Москва: сб. тез. докл. М., 2017. С. 28. <http://geospheres.ru/>.

16. Гульельми А., Довбня Б.В., Зотов О.Д., Клайн Б.И., Потапов А.С., Рубан В.Ф., Стерликова И.В., Лавров И.П. Триггеры УНЧ-излучений: К 100-летию В.А. Троицкой // Среднеширотные геофизические обсерваторские наблюдения. Научно-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения В.А. Троицкой и 60-летию геофизической обсерватории «Борок». 16–19 октября 2017 г., Борок: тез. докл. Ярославль, 2017. С. 9–10. <http://wwwbrk.adm.yar.ru/jubilee/index.html>.

17. Данилова О. А., Тясто М.И., Вернова Е.С., Сдобнов В.Е. Изменения жесткостей обрезания космических лучей в период минимума DST в ноябре 2003 г. в планетарном масштабе // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 290. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

18. Демидов М. Л., Григорьев В.М., Ретюнский Л.Б., Скоморовский В.И., Денисенко С.А., Пименов Ю.Д., Липин Н.А. СОЛСИТ — СОЛнечный СИноптический Телескоп для исследования магнетизма Солнца и космической погоды // Всерос. астроном. конф. – 2017 «Астрономия: познание без границ». 7–22 сентября 2017 г., Ялта, Крым: сб. тезисов докл. Ялта, 2017. С. 31. <http://onlinereg.ru/VAK-2017>; <http://stars.craocrimea.ru/images/vak/abstracts.pdf>; http://stars.craocrimea.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=162&lang=ru.

19. Довбня Б.В., Потапов А.С., Гульельми А. Резонансные структуры в магнитосфере Земли // Среднеширотные геофизические обсерваторские наблюдения. Научно-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения В.А. Троицкой и 60-летию геофизической обсерватории «Борок». 16–19 октября 2017 г., Борок: тез. докл. Ярославль, 2017. С. 24. <http://wwwbrk.adm.yar.ru/jubilee/index.html>.

20. Едемский И.К., Ясюкевич А.С. Эффекты взаимодействия тропических циклонов и солнечного терминатора в ПЭС над Японией // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 447. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

21. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Кириченко К.Е. Роль солнечной активности в наблюдаемых изменениях климата в XX веке // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 184. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

22. Жугжда Ю.Д., Сыч Р.А. Единая теория колебаний в пятне // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 24. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

23. Жуков А.В., Сидоров Д.Н., Мыльникова А.А., Ясюкевич Ю.В. Методы машинного обучения в задачах оперативного прогноза полного электронного содержания ионосферы // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

24. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Сравнение особенностей формирования корональных выбросов массы с разной максимальной скоростью // Солнечная и солнечно-

земная физика – 2017. Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 42.

25. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Особенности формирования медленных корональных выбросов массы типа гало // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 95. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

26. Захаров В.И., Ясюкевич Ю.В., Пронин В.Е. Статистическая оценка уровней региональных диагностических сбоев полной электронной концентрации по данным GPS-наблюдений // Науч. конференция «Ломоносовские чтения – 2017». 16–27 апреля 2017, Москва, МГУ: тез. докл. М.: МГУ, 2017. С. 242–245.

27. Ишин А.Б., Воейков С.В. Определение параметров ионосферных неоднородностей вызванных включением реактивных двигателей космических кораблей «Прогресс» // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С.449. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

28. Ишин А.Б., Воейков С.В. Параметры ионосферного отклика на включение двигателей корабля «Прогресс» по данным ГНСС // IV Всерос. научно-техн. конф. «Системы связи и радионавигации». 12–13 октября 2017, Красноярск: сб. тезисов. Красноярск, 2017. С. 384–387. <http://vntconference.ru/conference/collections/>.

29. Караханян А. А., Молодых С.И. Изменение температуры и влажности воздушных масс циклонов во время геомагнитных возмущений // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 317. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

30. Караханян А.А., Молодых С.И. Влияние влажности на эволюцию циклонов во время геомагнитных возмущений // Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 49.

31. Кичатинов Л.Л., Непомнящих А.А. Что наблюдения вращения звезд могут рассказать о солнечном динамо? // Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 80.

32. Ключек Н.В., Машнич Г.П. Эксперимент по квазиоптической регистрации терагерцового излучения Солнца в Саянской солнечной обсерватории // Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 52.

33. Кобец В.С., Лесовой С.В. Корреляционные кривые Сибирского радиогелиографа / В. С. Кобец, С. В. Лесовой // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 207. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

34. Когогин Д.А., Шербоев М.А., Насыров И.А., Загретдинов Р.В., Грач С.М., Белецкий А.Б. Волновые структуры, возбуждаемые солнечным терминатором, по данным наземной сети ГНСС-приемников, расположенных вдоль геомагнитной широты // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С.452. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

35. Котова Д.С., Оводенко В.Б., Ясюкевич Ю.В., Клименко М.В., Мыльникова А.А. Сравнение результатов коррекции моделей NeQuick и IRI-Plas с использованием ПЭС по данным приемников сигналов ГНСС // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 453. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

36. Кочанов А.А., Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Гречнев В.В., Федотова А.Ю. Си-

бирский радиогелиограф: калибровка наблюдений и построение радиокарт Солнца // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 210. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

37. Куприянова Е.Г., Кашапова Л.К., Xu Z., Reid H.A.S., Мягкова И.Н. МГД-осцилляции или периодические пересоединения? Диагностика механизма на основе многоволновых наблюдений солнечных вспышек // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 88. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

38. Куприянова Е.Г., Кашапова Л.К., Van Doorselaere T., Chowdhury P., Srivastava A. Индуцированные квазипериодические пульсации на фазе спада солнечной вспышки // Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 63.

39. Лавыгин И.А., Лебедев В.П., Гркович К.В., Бернгардт О.И. Первые результаты анализа тонкой структуры сигналов обратного рассеяния по данным декаметрового радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 298. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

40. Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Кочанов А.А., Гречнев В.В. Наблюдательные возможности Сибирского радиогелиографа // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 11. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

41. Леонович А.С., Козлов Д.А. Неустойчивость сдвигового течения в низкоширотном погранслое геомагнитного хвоста // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 287. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

42. Лукин В. П., Антошкин Л.В., Больбасова Л.А., Борзилов А.Г., Ботыгина Н.Н., Емалеев О.Н., Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Коняев П.А., Копылов Е.А., Кудряшов А.В., Лавринов В.В., Лавринова Л.Н., Сазонова П.В., Семин А.А., Чупраков С.А., Шиховцев А.Ю., Григорьев В.М. Разработка системы адаптивной оптики для солнечного телескопа // Всерос. астрон. конф. – 2017 «Астрономия: познание без границ». 7–22 сентября 2017 г., Ялта, Крым: сб. тезисов докл. Ялта, 2017. С. 32. <http://onlinereg.ru/VAK-2017>; <http://stars.craocrimea.ru/images/vak/abstracts.pdf>; http://stars.craocrimea.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=162&lang=ru.

43. Лысенко А.Л., Уланов М.В., Кузнецов А.А., Голенецкий С.В., Флейшман Г.Д., Фредерикс Д.Д., Кашапова Л.К., Олейник Ф.П., Свинкин Д.С. KW-Sun: база данных солнечных вспышек, зарегистрированных в эксперименте КОНУС-Винд в жестком рентгеновском и мягком гамма-диапазонах // Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 68.

44. Мазаева Е., Позаненко А., Минаев П., Вольнова А., Кусакин А., Рева И., Румянцев В., Хафизов Б., Бурхонов О., Инасаридзе Р., Молотов И., Клунко Е.В., Москвитин А., Фатхуллин Т.А. Космический гамма-всплеск GRB 160625B, его послесвечение и родительская галактика // XIV конф. молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 12–14 апреля 2017 г., ИКИ РАН, Москва: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 114. <http://kmu.cosmos.ru/>.

45. Медведева И.В., Семенов А.И. Оценка вариаций концентрации атомарного кислорода в D-области ионосферы в периоды метеорологических возмущений по данным измерений излучения гидроксила на средних широтах // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 456. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

46. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Влияние аномальной компоненты космических лучей на поведение индекса Fe/O // Двенадцатая ежегодная конференция

«Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 215. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

47. Мишин В.В., Караваев Ю.А. Насыщение полярной шапки во время супербурь — результат конечной сжимаемости магнитосферы? // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 54. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

48. Мишин В.В., Клибанова Ю.Ю., Цэгмед Б., Караваев Ю.А., Курикалова М.А., Лунюшкин С.Б., Кондратьев А.Б. Динамика геомагнитных пульсаций, продольных токов и свечения ночной атмосферы на средних широтах во время магнитосферных супербурь // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 289. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

49. Mishin V.V., Mishin V.M., Lunyushkin S.B. 27 August 2001 substorm: pre-onset phenomena, two main onsets, field-aligned current systems, and plasma flow channels in the ionosphere and magnetosphere // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 259. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

50. Mishin V.V., Mishin V.M., Lunyushkin S.B., Karavaev Yu.A., Kurikalova M.A., Pensikh Yu. Asymmetric evolution of the magnetospheric substorm expansion phase in the Earth's two hemispheres // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 261. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

51. Молодых С. И. Проявление климатического сдвига 1977 г. в северной части Тихого океана // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 318. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

52. Перминов В.И., Семенов А.И., Медведева И.В., Перцев Н.Н., Суходоев В.А. Излучение среднеширотной верхней мезосферы и нижней термосферы: спектры вариаций температуры и интенсивностей эмиссий гидроксидов и молекулярного кислорода // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 206. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

53. Подгорный А.И., Подгорный И.М., Мешалкина Н.С. Конфигурация магнитного поля в короне во время солнечной вспышки и вспышечные источники рентгеновского излучения // Всерос. астрон. конф. – 2017 «Астрономия: познание без границ». 7–22 сентября 2017 г., Ялта, Крым: сб. тезисов докл. Ялта, 2017. С. 90. <http://onlinereg.ru/VAK-2017>; <http://stars.craocrimea.ru/images/vak/abstracts.pdf>; http://stars.craocrimea.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=162&lang=ru.

54. Полюшкина Т.Н., Потапов А.С., Цэгмед Б., Ойнац А.В., Пашинин А.Ю., Едемский И.К., Ратовский К.Г. К разработке метода мониторинга верхней атмосферы по данным наблюдений непрерывных УНЧ-эмиссий // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 239. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

55. Пономарчук С.Н., Салимов Б.Г., Бернгардт О.И., Куркин В.И., Поддельский А.И., Поддельский И.Н., Думбрава З.Ф. Автоматическая система круглосуточного мониторинга характеристик ионосферных слоев над азиатской частью территории РФ по данным сети станций наклонного зондирования // V Всерос. научно-техн. конференция «РТИ СИСТЕМЫ ВКО – 2017». 25 мая 2017 г., Москва: тез. докл. М., 2017. С. 19. http://www.oaorti.ru/upload/%D0%92%D0%9A%D0%9E_2017.pdf.

56. Потапов А.С. Прохождение сквозь магнитосферу CIR-потока солнечного ветра // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 277. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

57. Потапов А.С., Довбня Б.В., Полюшкина Т.Н., Баишев Д.Г. Необычная узкополосная эмиссия нестационарной частоты: возможный сценарий возникновения и развития //

Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 285. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

58. Потапов А.С., Полюшкина Т.Н., Гульельми А. Эффект Троицкой—Большаковой: роль альвеновской турбулентности солнечного ветра // Среднеширотные геофизические обсерваторские наблюдения. Научно-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения В.А. Троицкой и 60-летию геофизической обсерватории «Борок». 16–19 октября 2017 г., Борок: тез. докл. Ярославль, 2017. С. 11–12. <http://www.wbrk.adm.yar.ru/jubilee/index.html>.

59. Рахматулин Р.А., Липко Ю.В., Пашинин А.Ю., Алешков В.М. Геофизический комплекс ИСЗФ СО РАН для мониторинга электромагнитных полей в высоких и средних широтах // Среднеширотные геофизические обсерваторские наблюдения. Научно-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения В.А. Троицкой и 60-летию геофизической обсерватории «Борок». 16–19 октября 2017 г., Борок: тез. докл. Ярославль, 2017. С. 19. <http://www.wbrk.adm.yar.ru/jubilee/index.html>.

60. Рубцов А. В., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н., Чуйко Д.А. Ультранизкочастотные компрессионные колебания в магнитосфере. Анализ данных спутниковой системы THEMIS // XIV конф. молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 12–14 апреля 2017 г., ИКИ РАН, Москва: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 74. <http://kmu.cosmos.ru/>.

61. Семенов А.И., Медведева И.В., Перминов В.И. Пространственно-временные вариации инфракрасного излучения (15 мкм) молекулы двуокиси углерода CO₂ в верхней атмосфере // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 207. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

62. Сетов А.Г., Медведев А.В., Лебедев В.П., Ташлыков В.П., Кушнарев Д.С. Применение абсолютных измерений мощности в интерферометрических наблюдениях на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 466. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

63. Ташлыков В.П., Медведев А.В. Эффект Фарадея как источник погрешности восстановления ионных и электронных температур методом некогерентного рассеяния // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 468. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

64. Тащилин М.А., Белецкий А.Б., Пашинин А.Ю. Оптические наблюдения излучения верхней атмосферы во время магнитной бури 17 марта 2015 г. // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 226. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

65. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Михалев А.В. Алгоритмы регистрации и обработки быстрых оптических явлений в атмосфере Земли по данным ПЗС-фотометра // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 65. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

66. Торопова М.С., Кашапова Л.К. Анализ спектра микроволнового излучения залимбовой вспышки 1 сентября 2014 г. // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 216. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

67. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И., Нихайчик А.А. Обнаружение возникновения бесстолкновительной поршневой ударной волны, связанной с КВМ, в поле зрения коронографа LASCO C3 // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 93. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

68. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И., Загайнова Ю.С. Кинематика КВМ и связанных ударных волн по данным LASCO: сравнительный анализ // Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 40.

69. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И. Рождение ударной волны, связанной с КВМ, в поле зрения коронографа LASCO C3 // Солнечная и солнечно-земная физика – 2017. Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 107.

70. Хабитуев Д.С., Шпынев Б.Г., Щеглова Е.С., Татарников А.В. Вариации вертикального переноса газа в зимней стратосфере и тропосфере Северного полушария // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 231. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

71. Цветкова А.Е., Алтынцев А.Т., Анфиногентов С.А., Фредерикс Д.Д., Кузнецов А.А., Лукичева М., Лысенко А.Л., Моторина Г., Мышьяков И.И., Ступишин А., Уланов М.В., Аптекарь Р.Л., Флейшман Г.Д. Новый веб-ресурс по физике Солнца: реконструкция трехмерной структуры солнечных вспышек и активных областей // Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 69.

72. Черменин А.В., Ляхов А.Н., Тащилин А.В., Пономарчук С.Н., Пензин М.С., Романова Е.Б. Влияние изменения геомагнитного поля на рабочие частоты КВ-радиолиний // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 43. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

73. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Коуцка Книжова П., Коуба Д., Мелич Й., Козловский А.Е. Ионосферная возмущенность над Европой зимой по данным ионозондов и GPS/ГЛОНАСС // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 470. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

74. Чернов Г.П., Фомичев В.В., Сыч Р.А. Сравнение альтернативных моделей зebra-структуры в солнечном радиоизлучении // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 73. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

75. Чернов Г. П., Фомичев В.В., Сыч Р.А. Сравнение альтернативных моделей zebra-структуры в солнечном радиоизлучении // Всерос. астрон. конф. – 2017 «Астрономия: познание без границ». 7–22 сентября 2017 г., Ялта, Крым: сб. тезисов докл. Ялта, 2017. С. 98. http://onlinereg.ru/VAK-2017;http://stars.craocrimea.ru/images/vak/abstracts.pdf;http://stars.craocrimea.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=162&lang=ru.

76. Шарыкин И.Н., Косогоров Е.А., Садыков В.М., Зимовец И.В., Мышьяков И.И. Исследование взаимосвязи источников жесткого рентгеновского излучения с фотосферным и гелиосейсмическим возмущением в солнечной вспышке X1.8 23 октября 2012 г. // Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2017». 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 114.

77. Шарыкин И.Н., Кузнецов А.А., Мышьяков И.И. Анализ топологии магнитного поля по картам поляризации нетеплового микроволнового радиоизлучения солнечной вспышки M1.7 11 февраля 2014 г. // Солнечная и солнечно-земная физика – 2017. Всерос. ежегодная конф. по физике Солнца. 9–13 октября 2017 г., Санкт-Петербург: тез. докладов. СПб., 2017. С. 115.

78. Шарыкин И.Н., Кузнецов А.А., Контар Э.П. Пространственно разрешенные наблюдения Pb-радиовсплесков по данным LOFAR в частотном диапазоне 30–80 МГц // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 75. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

79. Шиндин А.В., Клименко В.В., Грач С.М., Когогин Д.А., Насыров И.А., Бе-

лецкий А.Б., Сергеев Е.Н. Результаты применения модели сфероида в задаче определения пространственных характеристик области генерации искусственного оптического свечения ионосферы в линии 630 нм // Двенадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М., 2017. С. 226. <http://plasma2017.cosmos.ru/>.

80. Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В. Глобальное электронное содержание в 23 и 24 циклах солнечной активности // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 473. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

81. Ясюкевич А.С., Куликов Ю.Ю., Клименко М.В., Клименко В.В., Бессараб Ф., Кореньков Ю.Н., Маричев В.Н., Ратовский К.Г., Колесник С.А. Изменения параметров средней и верхней атмосферы над территорией России в январе 2013 года // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 472. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

82. Ясюкевич Ю.В., Сыроватский С.И., Веснин А.М., Затолокин Д.А. Мерцания навигационного сигнала GPS/ГЛОНАСС: 20 лет отечественных исследований // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 474. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

83. Ясюкевич Ю.В., Перевалова Н.П., Воейков С.В. Изучение ионосферы с помощью GPS/ГЛОНАСС: 20 лет отечественных исследований // Пятнадцатая Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 1–17 ноября 2017 г., Москва, ИКИ РАН: тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2017. С. 480. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=144.

84. Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Иванов В.Б. Использование данных одностотных навигационных приемников для определения абсолютного полного электронного содержания ионосферы // V Всерос. научно-техн. конференция «РТИ СИСТЕМЫ ВКО – 2017». 25 мая 2017 г., Москва: тез. докл. М., 2017. С. 19. http://www.oaorti.ru/upload/%D0%92%D0%9A%D0%9E_2017.pdf.

7.6. Тезисы докладов на международных конференциях

1. Afanasyev A., Uralov A.M. Link between slow-mode MHD waves and QPPS in solar flares: mode transmission mechanism // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 24.

2. Akchurin A., Oinats A.V., Sherstyukov R. Comparison of the medium-scale wave activity in the ionosphere observed by the Kazan ionosonde “Cyclone”, Dense GPS/GLONASS receiver network in the middle Volga region, and Ekaterinburg HF Radar // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 67–68.

3. Altyntsev A.T. Modern instrumentation. Advanced data analysis techniques // Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth”. Irkutsk, Russia. 18–21 September 2017: Abstracts and Program. Irkutsk, 2017. P. 7.

4. Anfinogentov S., Pascoe D.J., Goddard C.R., Nakariakov V.M. Coronal loop seismology using the Markov chain Monte Carlo techniques // Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth”. Irkutsk, 18–21 September 2017: Abstracts and Program. Irkutsk, 2017. P. 10.

5. Anfinogentov S., Nakariakov V.M. MHD-seismology of the coronal magnetic field by decayless kink oscillations // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 27.

6. Anfinogentov S. Coronal seismology with decayless kink oscillations // 15th European Solar Physics Meeting (ESPM-15). Budapest, 4–8 September, 2017: Abstracts. Budapest, 2017. <http://astro.elte.hu/ESPM-15>.
7. Anfinogentov S. Probing coronal magnetic field at the TR level using microwave gyro-resonant techniques // IAPSO-IAMA-IAGA General Assembly. 27 August – 1 September 2017, Cape Town, South Africa: Abstracts. 2017. #. 305. <http://www.iapso-iamas-iaga2017.com/index.php/2016-05-15-22-51-06/scientific-programme-2/iaga-sessions>.
8. Anfinogentov S. Coronal seismology with decay-less kink oscillations // IAPSO-IAMA-IAGA General Assembly. 27 August – 1 September 2017, Cape Town, South Africa: Abstracts. 2017. #. 1516. <http://www.iapso-iamas-iaga2017.com/index.php/2016-05-15-22-51-06/scientific-programme-2/iaga-sessions>.
9. Antokhina O., Devyatova E.V., Antokhin P.N., Martynova Y.V. Wintertime atmosphere blocking events in Western Siberia in the period 2004–2016 and their connection with anomalies of surface temperature // The 2nd Intern. Electronic Conference on Atmospheric Sciences. 16–31 July 2017: Abstracts. 2017. <http://sciforum.net/conference/ecas2017/paper/4127>
10. Artamonov M., Vasilyev R.V. Modeling interferogram images for the output data simulation of Fabry–Perot interferometer // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 134.
11. Berngardt O.I., Perevalova N.P., Podlesnyi A.V., Kurkin V.I., Zhrebtsov G.A. Co-seismic vertical midscale ionospheric disturbances based on Irkutsk Chrip Ionosonde data in 2011–2016 // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 68–69.
12. Borodkova N.L., Eselevich V.G., Zastenker G.N., Sapunova O.V., Yermolaev Yu.I. Investigation of interplanetary shock structure with Plasma Spectrometer BMSW onboard the SPEKTR-R // AOGS-2017. 14th Annual Meeting of Asia Oceania Geoscience Society. Singapore, 6–11 August, 2017: Abstracts. Singapore, 2017. Art. # ST16-A015. <http://www.asiaoceania.org/aogs2017/public.asp?page=home.htm>.
13. Chelpanov M., Mager O.V., Mager P., Klimushkin D., Berngardt O.I. Simultaneous observations of drift compressional waves in the magnetosphere using an Ekaterinburg coherent decameter radar and spacecraft measurements // The 40th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", Apatity, 13–17 March 2017: abstracts. 2017. P. 39. <http://pgia.ru/seminar/>.
14. Chelpanov A.A., Kobanov N.I., Chelpanov M., Chupin S.A. Comparison of the main oscillation characteristics in the solar chromosphere, solar wind, and magnetosphere // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 14.
15. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Oscillations accompanying a He I 10830 Å negative flare 2 207 // 15th European Solar Physics Meeting (ESPM-15). Budapest, 4–8 September, 2017: Abstracts. Budapest, 2017. <http://astro.elte.hu/ESPM-15>.
16. Chelpanov A.A., Kobanov N.I., Chupin S.A. On the search of Alfvén waves in faculae // Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth”. Irkutsk, Russia. 18–21 September 2017: Abstracts and Program. Irkutsk, 2017. P. 11.
17. Chirik N., Markov A., Klimenko M., Ratovsky K.G., Karpachev A.T., Klimenko V., Pustovalova L., Korenkova N.A. Comparison of N_mF2 solar activity dependence over Kaliningrad and Irkutsk – empirical model's results // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 56.
18. Chuiko D.A. MHD waveguide in the outer magnetosphere // Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth”. Irkutsk, Russia. 18–21 September 2017: Abstracts and Program. Irkutsk, 2017. P. 12.
19. Deres A. Diagnostics of the temperature distribution in coronal structures above sunspots, using 3-min oscillations // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 23.

20. Devyatova E.V., Mordvinov V.I., Antokhin P.N. Antokhina, O. Differences in the intensity of the stratospheric circulation meridionality for the solar maxima and minima conditions // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 111.
21. Edemskiy I.K., Lastovicka J., Buresova D., Habarulema J.B. TEC enhancement in southern hemisphere during magnetic storm of August 15, 2015 // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 91.
22. Egorov Ya.I., Fainshtein V.G., Rudenko G.V. Photospheric magnetic field variations during the 7 June 2011 M2.5 flare // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 8.
23. Eselevich V.G., Eselevich M.V., Zimovets I.V. Possible causes of shock waves generation in the solar corona in the absence of coronal mass ejections // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 12–13.
24. Fainshtein V.G., Egorov Ya.I. CME-related shock generation within the LASCO C3 coronagraph field-of-view // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 10–11.
25. Fainshtein V.G., Egorov Ya.I., Zagainova Yu. Kinematics of CMEs and related shocks from LASCO data: comparative analysis // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 11–12.
26. Fedorov R., Berngardt O.I. Meteor trail observations at EKB ISTP SB RAS Radar // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 135.
27. Fedotova A., Kochanov A.A., Lesovoi S.V., Altyntsev A.T., Grechnev V.V. The multiwave Siberian Radioheliograph: Imaging software and calibration // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 25.
28. Fedotova A., Altyntsev A.T., Lesovoi S.V., Kochanov A.A. Observations the eruptive filament in the range of 4–8 GHz at the Siberian Radioheliograph // Young European Radioastronomers Conference-2017. Italy, 18–21 September, 2017: book of Abstracts. 2017. P. 15. <https://indico.ira.inaf.it/event/4/overview>.
29. Fleishman G.D., Anfinogentov S., Loukitcheva M., Mysh'yakov I.I., Stupishin A. Casting the coronal magnetic field reconstructions with magnetic field constraints above the photosphere in 3D using MHD Bifrost Model // AGU Fall Meeting. New Orleans, 2017, 11–15 December: Abstracts. 2017. # SH13A-2461. <https://agu.confex.com/agu/fm17/meetingapp.cgi/Home/0>.
30. Globa M.V., Vasilyev R.V., Yasyukevich Yu.V. Simultaneous observation of radio signal ionospheric scintillations in meter and decameter bands in the direction of the magnetic zenith // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 1748. <http://piers.org/piers2017StPetersburg>
31. Globa M.V., Vasilyev R.V., Yasyukevich Yu.V. Simultaneous observation of radio signal ionospheric scintillations in meter and decameter bands in the direction of the magnetic zenith // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 93–94.
32. Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. Detecting the solar new magnetic flux regions on the base of vector magnetograms // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 14.
33. Golubeva E.M., Mordvinov A.V. Formation of polar coronal holes in cycle 24 // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 36.
34. Gordovsky M., Kuznetsov A.A., Kontar E.P., Browning P.K. Non-thermal electrons in a large-scale solar coronal loop observed by LOFAR // National Astronomy Meeting – 2017. 2–6 July 2017, Univ. of Hull: Abstracts. 2017. <https://www.nam2017.org/schedule-by-session>.

35. Grechnev V.V., Lesovoi S.V., Altyntsev A.T., Kochanov A.A., Uralov A.M., Gubin A.V. Multi-instrument analysis of solar eruptive events observed by the Siberian Radioheliograph and comparison with traditional hypothesis: development of a shock wave and CME // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 21–22.
36. Grigoryev V.M., Demidov M.L., Kolobov D.Y., Chuprakov S.A., Kovadlo P.G., Skomorovsky V.I., Shikhovtsev A.Y., Pulyaev V.A., Belousov S.P., Semenov A.P., Ninane N. The Large Solar Telescope (LST-3) // 15th European Solar Physics Meeting (ESPM-15). Budapest, 4–8 September, 2017: Abstracts. Budapest, 2017. <http://astro.elte.hu/ESPM-15/>
37. Guglielmi A., Potapov A.S. Propagation of guided wave in moving media with application to the theory of small-scale electromagnetic waves in the solar wind plasma // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 695. <http://piers.org/piers2017StPetersburg>
38. Ishin A.B., Voeykov S.V., Perevalova N.P., Berngardt O.I. Registration of ionospheric response to operation of the engine of spacecraft "Progress" according to GNSS data // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 1242. <http://piers.org/piers2017StPetersburg>
39. Ivanova V.A., Kurkin V.I., Chistyakova L.V., Podlesny A.V., Ponomarchuk S.N., Poddelsky I.N., Poddelsky A.I. Peculiarities of decameter radio wave propagation over high-latitude paths using data of LFM ionosondes network // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 791. <http://piers.org/piers2017StPetersburg>
40. Ivanova V.A., Kurkin V.I., Podlesny A.V., Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kim A.G., Dumbrava Z.F., Poddelsky I.N., Poddelsky A.I. Large-scale traveling ionospheric disturbances registered using oblique-incidence sounding over North Eastern region of Russian Federation // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 531. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.
41. Ivanova V.A., Kurkin V.I., Poddelsky I.N. Geophysical conditions for round-the-world propagation of HF radio signals // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 789. <http://piers.org/piers2017StPetersburg>
42. Ivanova V.A., Ponomarchuk S.N., Podlesnyi A.V., Dumbrava Z.F., Poddelsky A.I. Response of high frequency radio wave propagation characteristics to the X-ray flux variations // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 91.
43. Kashapova L.K. The possible method of the faint solar flare study with the Siberian Multiwave Radioheliograph // RHESSI 16th Workshop / MinXSS 1st Workshop. 19–24 June, 2017, Boulder, CO, USA: Abstracts. 2017. P. 19. <https://rhessi16.boulder.swri.edu>
44. Kashapova L.K. The origin of solar flares and CMEs: advances and challenges // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 22–23.
45. Kashapova L.K. Magnetic reconnection and impulsive energy releases in solar flares // Russian-British Seminar of Young Scientists "Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth". Irkutsk, Russia. 18–21 September 2017: Abstracts and Program. Irkutsk, 2017. P. 8.
46. Katashevtseva D., Perevalova N.P., Timofeeva O.V., Romanova E.B. Behavior of ionospheric total electron content in the high latitudes on 4–6 May 2013 // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 65.
47. Khlystova A.I., Toriumi S. Enhanced plasma upflows during the emergence of small active regions in the solar photosphere // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second

VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 13.

48. Khlystova A.I. Photospheric plasma flows during the emergence of small active region on the Sun // 15th European Solar Physics Meeting (ESPM-15). Budapest, 4–8 September, 2017: Abstracts. Budapest, 2017. <http://astro.elte.hu/ESPM-15>

49. Kichigin G.N., Kravtsova M., Sdobnov V.E. Variations in the geomagnetic cutoff rigidity during the 2015 March magnetic storm // ISCR2017. Intern. Symposium on Cosmic Rays and Astrophysics. June 20–22, 2017. MEPhI, Moscow: Program. M., 2017. P. 8. <http://iscra2017.mephi.ru/en/program>

50. Kiselev V., Grechnev V.V., Uralov A.M., Kochanov A.A. The shock wave development in a major solar eruptive event responsible for GLE63 // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 18–19.

51. Klibanova Y., Mishin V.V., Tsegmed B. Bursts of magnetosphere charged particle fluxes and various types of geomagnetic pulsations and atmosphere glows during the superstorm at middle latitudes near Irkutsk // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 65–66.

52. Klimenko M., Klimenko V., Zakharenkova I.E., Ratovsky K.G., Lukianova R., Despirak I., Kozelov B., Chernyakov S.M., Dmitriev A., Andreeva E.S., Padokhin A. Effects of geomagnetic storms in the high-latitude and sub-auroral ionosphere // The 40th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, 13–17 March, 2017: Abstracts. 2017. P. 62. <http://pgia.ru/seminar>

53. Klimenko M., Ratovsky K.G., Klimenko V., Yasyukevich Yu.V., Yasyukevich A., Chirik N., Markov A., Abdullaev A., Korenkova N.A. Solar and geomagnetic control of ionospheric winter anomaly and summer evening anomaly in nmF2 and TEC // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 109–110.

54. Klimenko M., Klimenko V., Ratovsky K.G., Dmitriev A., Suvorova A., Zakharenkova I.E. Ionospheric disturbances after the main phase of geomagnetic storm // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 55.

55. Klimenko M., Klimenko V., Bessarab F.S., Korenkov Y.N., Zakharenkova I.E., Ratovsky K.G., Rozanov E.V., Kulyamin D.V. Current understanding of the thermosphere–ionosphere system response to sudden stratospheric warmings // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2017). 27–30 июня 2017 г., Санкт-Петербург: Тезисы докладов. 2017. С. 12. <http://www.rrc.phys.spbu.ru/msard17.html>

56. Klimushkin D. MHD waves in magnetosphere // Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth”. Irkutsk, Russia. 18–21 September 2017: Abstracts and Program. Irkutsk, 2017. P. 8.

57. Klimushkin D., Mager P. High-m ULF waves in the terrestrial magnetosphere: spatial structure and generation mechanisms // AGU Chapman Conference on Dayside Magnetosphere Interactions. 10–14 July, Chengdu, China: Abstracts. 2017. Ст. 204602. <https://agu.confex.com/agu/17chapman3/webprogram/Paper204602.html>.

58. Kobets V.S. Interferences on the correlation data of the Siberian Radioheliograph // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 133.

59. Kobets V.S., Lesovoi S.V. Analysis of an interference affecting the data of the Siberian Radioheliograph // Young European Radioastronomers Conference – 2017. Italy, 18–21 September, 2017: Book of Abstracts. 2017. P. 15. <https://indico.ira.inaf.it/event/4/overview>.

60. Kontar E.P., Perez J.E., Harra L.K., Kuznetsov A.A., Emslie A.G., Jeffrey N.L.S., Bian N.H., Dennis B.R. Turbulence energetics within standard solar flare model // National Astronomy Meeting – 2017. 2–6 July 2017, Univ. of Hull: Abstracts. 2017. <https://nam2017.org/science/posters2017/details/30/466>

61. Kosovichev A.G., Sharykin I.N., Sadykov V., Zimovets I.V., Myshyakov I.I. Relation-

ship between high-energy X-ray sources and helioseismic impact of X-class flare // American Astronomical Society, SPD Meeting, Portland, Oregon, August 2017: Abstracts. 2017. Art. #. 2.03. <https://aas.org/meetings/spd48/schedule>.

62. Kosovichev A.G., Larson T., Guerrero G., Pipin V.V. Solar-cycle variations observed by helioseismology and constraints on solar dynamo // American Astronomical Society, SPD Meeting, Portland, Oregon, August 2017: Abstracts. 2017. Art. # 403.03. <https://aas.org/meetings/spd48/schedule>.

63. Kostarev D.V. The drift-compression waves propagating in the eastern direction // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 92.

64. Kotova D., Klimenko M., Ovodenko V.D., Yasyukevich Yu.V. Correction of the NeQuick model at high-latitude using TEC data for HF radio wave propagation problem // The 40th Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», Apatity, 13–17 March 2017: abstracts. 2017. P. 63. <http://pgia.ru/seminar/>.

65. Kotova D., Ovodenko V.D., Yasyukevich Yu.V., Nosikov I.A., Klimenko M. Correction of the NeQuick model at high latitudes using ground-based GNSS receivers-verification by ionosonde data and HF ray tracing // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 87–88.

66. Kotova D., Ovodenko V.D., Yasyukevich Yu.V., Nosikov I.A., Klimenko M., Mylnikova A.A., Ratovsky K.G. Ground-based GNSS data for the correction of the ionospheric model using modified solar index // Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth”. Irkutsk, Russia. 18–21 September 2017: Abstracts and Program. Irkutsk, 2017. P. 16.

67. Kovadlo P.G., Lukin V.P., Shikhovtsev A.Yu., Kochugova E. Solar activity variations inducing effects of light scattering and refraction in the Earth's atmosphere // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 119.

68. Kovadlo P.G., Lukin V.P., Shikhovtsev A.Yu. Development of astronomical instruments equipped with adaptive optics systems // The International Conference on Astronomy and Geophysics in Mongolia 2017. 20–22 July 2017, Ulaanbaatar, Mongolia: Program. 2017. <https://iag.mn/en/index.php?pid=136>.

69. Kravtsova M., Sdobnov V.E. Method of spectrographic global survey for diagnostics of the interplanetary environment electromagnetic characteristics according to data from the worldwide network of cosmic ray stations // 10 Years NMDB Workshop. 20–23 March 2017, Athens, Greece: Program and Abstracts. Athens: Athens Cosmic Ray Group, 2017. P. 26.

70. Kravtsova M., Sdobnov V.E. Spectra and anisotropy during the first GLE event of solar cycle 24 // ISCRA2017. International Symposium on Cosmic Rays and Astrophysics. June 20–22, 2017. MEPhI, Moscow: Program. M., 2017. P. 4. <http://iscra2017.mephi.ru/en/program>.

71. Kudryavtseva A., Prosovetsky D.V. Solar wind characteristics in polar region of the Sun corona by stereo data during 2009–2014 // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 17.

72. Kupriyanova E.G., Satoshi M., Kashapova L.K., Zhdanov D.A. A role of the co-phased quasi-periodic pulsations in the energy release of the weak solar flare // APSPM-2017. The 4th Asia-Pacific Solar Physics Meeting. November 7–10, 2017 Kyoto Univ., Japan: Abstract Book. 2017. P. 37. <http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/apspm2017/#Program>.

73. Kurkin V.I., Laryunin O.A., Podlesny A.V., Pezhemskaya M.D. Observations of traveling ionospheric disturbances on the basis of vertical and near-vertical sounding data // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 788. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

74. Kurkin V.I., Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Rogov D., Romanova E.B., Chelpanov M. Ionospheric disturbances during 17–19 March 2015 magnetic storm over northern region of Russia // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017.

St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 794. <http://piers.org/piers2017> StPetersburg/.

75. Kurkin V.I., Polekh N.M., Zolotukhina N.A. The pattern of ionospheric disturbances caused by complex interplanetary structure on 19–22 December 2015 // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 96.

76. Kuznetsov A.A., Fleishman G.D. Diagnosing kappa distribution in the solar corona with the polarized microwave gyroresonance radiation // International Conference on Statistical Physics SigmaPhi2017. 10–14 July 2017, Corfu, Greece: Abstract Booklet. 2017. P. 65. http://www.sigmaphi.polito.it/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=297.

77. Laryunin O.A. Study of traveling ionospheric disturbances using closely spaced ionosondes // Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth”. Irkutsk, Russia. 18–21 September 2017: Abstracts and Program. Irkutsk, 2017. P. 17.

78. Lavygin I.A., Lebedev V.P., Grkovich K., Bergardt O.I. Analysis of fine structure of backscattered signals based on EKB ISTP SB RAS radar data // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 96–97.

79. Leonovich A.S., Kozlov D.A. Standing Alfvén waves excited in the dayside magnetosphere by extra-magnetospheric sources // AGU Chapman Conference on Dayside Magnetosphere Interactions. 10–14 July, Chengdu, China: Abstracts. 2017. Cr. 204607. <https://agu.confex.com/agu/17chapman3/webprogram/Paper204607.html>.

80. Lipko Yu.V., Rakhmatulin R.A., Pashinin A.Yu. Investigation of active area dynamics in auroral zone using observations of irregular geomagnetic pulsations // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 100.

81. Lipko Yu.V., Rakhmatulin R.A., Pashinin A.Yu. Geoeffects of Chelyabinsk meteoroid entering the Earth's magnetosphere // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 102.

82. Lukovnikova A.A. Sayan spectrographic cosmic ray complex and cosmic ray station Norilsk // 10 Years NMDB Workshop. 20–23 March 2017, Athens, Greece: Program and Abstracts. Athens: Athens Cosmic Ray Group, 2017. P. 18.

83. Lysenko A., Aptekar R.L., Fleishman G., Frederiks D., Kashapova L.K., Kuznetsov A.A., Tsvetkova A.E., Ulanov M.V., Sokolova Z., Svinkin D., Oleynik P., Kokomov P. Konus-wind hard X-ray and soft gamma-ray solar flares database // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 133.

84. Lysenko A., Aptekar R.L., Fleishman G., Kashapova L.K., Kuznetsov A.A., Tsvetkova A.E., Ulanov M.V., Sokolova Z., Svinkin D., Kokomov P., Oleynik P. KW-Sun: Konus-wind hard X-ray and soft gamma-ray solar flare database // IAPSO-IAMA-IAGA General Assembly. 27 August–1 September, 2017, Cape Town, South Africa: Abstracts. 2017. #457. <http://www.iapso-iamas-iaga2017.com/index.php/2016-05-15-22-51-06/scientific-programme-2/iaga-sessions>.

85. Meshalkina N.S., Altyntsev A.T., Meszarosova H., Karlicky M., Lesovoi S.V. Elementary acts of energy release in the initial stage of the 4 August 2011 flare // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 19.

86. Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Alsatkin, S.S. Experimental study of IGW-wind interaction using the combined Irkutsk incoherent radar and ionosonde data // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 62–63.

87. Medvedeva I.V., Semenov A.I. Impact of stratospheric warmings on the MLT composition and temperature from spectrometric observations of OH (6-2) airglow at mid latitudes // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 63.
88. Medvedeva I.V., Semenov A.I. Estimation of changes in the atomic oxygen density in the mesopause during the periods of meteorological disturbances using spectrometric observations of OH (6-2) airglow // 44th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods. 4–8 September 2017. Barcelona, Spain: Book of Abstracts. 2017. P. 5.
89. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Comparison of atmospheric and ionospheric variabilities from measurements of OH (6-2) rotational temperature and F2 peak electron density // 7th NDMC Symposium in Grainau, Germany. 15–18 May, 2017: Abstracts. 2017. P. 23. http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-11932/20674_read-49250.
90. Mishin V.V., Mishin V.M., Kurikalova M.A., Lunyushkin S.B., Sapronova L.A., Pensikh Yu., Kondratev A. The relative role of ionospheric conductivity and electric field in the dynamics of field-aligned currents on the night side during a substorm // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 66.
91. Molodykh S.I. On the mechanism of influence of heliogeophysical disturbances on the Earth troposphere // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 115.
92. Mordvinov A.V., Pevtsov A. The Sun's polar-field reversal in the current cycle: the effects of north-south asymmetry of sunspot activity // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 36.
93. Mylnikova A.A., Yasyukevich Yu.V., Ivanov V., Yasyukevich A. Estimating the absolute total electron content from the single-frequency GPS/GLONASS data // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 1585. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.
94. Mylnikova A.A., Yasyukevich Yu.V., Ivanov V. The technique for estimation of absolute total electron content using dual-frequency and single-frequency GPS/GLONASS data // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 132.
95. Myshyakov I.I., Fleishman G.D., Anfinogentov S., Loukitcheva M., Rudenko G.V., Stupishin A. Coronal magnetic field reconstruction with magnetic field constraints above the photosphere // IAPSO-IAMA-IAGA General Assembly. 27 August – 1 September, 2017, Cape Town, South Africa: Abstracts. 2017. #770. <http://www.iapso-iamas-iaga2017.com/index.php/2016-05-15-22-51-06/scientific-programme-2/iaga-sessions>.
96. Naumenko A., Kim A.G., Kurkin V.I. A study of possibilities of “GNU Radio Companion” for Chirp Signal Processing // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 134.
97. Oinats A.V., Bergardt O.I., Afanasiev N.T. Study of ground backscatter intensity registered by the Ekaterinburg HF Radar // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 68.
98. Parkhomov V.A., Borodkova N.L., Yakhnin A., Pashinin A.Yu., Tsegmed B. Two types of response of the magnetosphere to the interaction with interplanetary shocks in the geomagnetic pulsations // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 12.
99. Пархомов В.А., Бородкова Н.Л., Яхнин А.В., Цэгмед Б., Чиликин В.Э., Хомутов С.Ю., Пашинин А.Ю., Довбня Б.В. Особенности всплесков геомагнитных пульсаций, сопровождающих два SSC 22.06.2015 // The 40th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, 13–17 March, 2017: Abstracts. 2017. P. 47. <http://pgia.ru/seminar/>.
100. Penzin M.S., Ilyin N.V., Ponomarchuk S.N. Advanced model of HF radio waves

propagation based on normal wave method // PIERS 2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 526. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

101. Penzin M.S., Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kurkin V.I. The program complex for interpretation of ionospheric backscatter sounding data // URSI-2017 GASS. XXXII URSI General Assembly and Scientific Symposium. 19–26 August 2017, Montreal, Canada: Program. Montreal, 2017. Art. #G35P-5. P. 72. http://www.ursi2017.org/pdf-docs/URSIGASS17_Program_July06.pdf.

102. Perevalova N.P., Shestakov N.V., Voeykov S.V. The Chelyabinsk meteorite effects in ionosphere according to the GPS network data // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 62.

103. Pipin V.V., Tomozov V.M. Connection between magnetic field topology and chemical anomalies in stellar coronas // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 30.

104. Pipin V.V. The Lambda effect and double-cell meridional circulation structure on the Sun // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 31.

105. Pipin V.V. Nonlinear dynamo models of present and young solar analogs // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 50.

106. Pipin V.V., Yokoi N. Generation of large-scale magnetic field in convective full-sphere cross-helicity dynamo // Helicity Thinkshop 3. IIS (Univ. of Tokyo), Japan, 19–24 November 2017: Book of Abstracts. 2017. P. 24 (A-13). <http://science-media.org/conferencePage.php?v=23>.

107. Podgorny A.I., Podgorny I.M., Meshalkina N.S. Magnetic field configuration in corona and flare X-ray sources above the active region 10365 // The 40th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, 13–17 March, 2017: Abstracts. 2017. P. 51. <http://pgia.ru/seminar/>.

108. Podgorny A.I., Podgorny I.M., Meshalkina N.S. Flare positions founded from MHD simulation results and X-ray sources above the active region 10365 // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 4.

109. Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Penzin M.S. The research of backscatter ionosphere sounding features on the base of chirp ionosonde // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 530. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

110. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kotovich G.V., Kurkin V.I., Penzin M.S. The real-time forecast of HF radio channel on the base of backscatter sounding data // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 790. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

111. Potapov A.S., Polyushkina T., Tsegmed B., Oinats A.V., Pashinin A.Yu., Edemsky I.K., Mylnikova A.A., Ratovsky K.G. Searching for an alternative method of the ionosphere monitoring // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 696. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

112. Potapov A.S., Tsegmed B. Using interplanetary satellite data to identify the passage of the solar wind structures through the Earth's magnetosphere // Исследования по геоинформатике: Труды геофизического центра РАН. International Conference. 2017: Book of Abstracts. Т. 5, № 1. С. 133. <https://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1909816>.

113. Ratovsky K.G., Klimenko M., Abdullaev A., Markov A., Korenkova N.A. Estimation of solar and geomagnetic activity contribution in solar cycle variations of median peak electron density NmF2 // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 848. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

114. Ratovsky K.G., Shi J.K., Wang G., Wang Z. Solar and geomagnetic activity depend-

ence of midlatitude F-spread occurrence // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 849. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

115. Ratovsky K.G., Medvedeva I.V. Statistics of ionospheric disturbances during sudden stratospheric warmings over Eastern Siberia // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 64.

116. Sedykh P.A. Processes in the front of bow shock // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 81.

117. Semenov A.I., Medvedeva I.V., Perminov V.I., Khomich V. Empirical model of spatial-temporal variations in the intensity of carbon dioxide (15 microns) infrared radiation in the upper atmosphere // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 119.

118. Semenov A.I., Medvedeva I.V., Perminov V.I., Khomich V. Regular variations in the MLT infrared airglow: Empirical model // 44th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods. 4–8 September 2017. Barcelona, Spain: Book of Abstracts. 2017. P. 25.

119. Semenov A.I., Medvedeva I.V., Perminov V.I., Sidash V. Empirical model of the spatio-temporal distribution of the intensity of the infrared emissions of atomic oxygen (63 nm) and carbon dioxide (15 nm) in the upper atmosphere // 7th NDMC Symposium. Grainau, Germany, 15–18 May 2017: Abstracts. 2017. P. 9. http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-11932/20674_read-49250.

120. Setov A., Medvedev A.V., Tashlykov V.P. Comparison between calibrated and absolute power measurements at the Irkutsk incoherent scatter radar // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 94.

121. Shi J. K., Wang Z., Torkar K., Zhrebtsov G.A., Ratovsky K.G., Romanova E.B. Study on plasma blob to result in radio signal scintillations in low latitude ionosphere // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 797. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

122. Shpynev B.G., Chernigovskaya M.A. Sources of longitudinal variations in high-middle latitude ionosphere over Eurasia // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 795. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

123. Shpynev B.G., Zhrebtsov G.A., Kushnarev D.S., Alsatkin S.S., Khabituev D.S., Voronov A.L. Expanding the diagnostic capabilities of Incoherent scatter radar technique // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 796. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.

124. Shpynev B.G., Chernigovskaya M. A., Yasyukevich A., Mylnikova A.A., Knizova P.K., Kouba D., Mielich J., Kozlovsky A., Zolesi B. Sources of the ionospheric variability over Europe in winter time from the ionosonde and GPS/GLONASS data // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 61.

125. Shpynev B.G., Khabituev D.S. Peculiarities of the geomagnetic field variations in quiet and disturbed conditions // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 116.

126. Smolkov G.Ya. Exposure to external influences Earth and solar system // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 90.

127. Sych R.A., Wang M., Liu Z. Wave dynamics in umbral flashes // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 3.

128. Tashlykov V.P., Medvedev A.V. Analysis of technique for plasma temperatures determination on the basis of radiophysical model of incoherent scatter signal // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 92–93.
129. Timofeeva O.V., Perevalova N.P., Katashevtseva D., Edemskiy I.K. Comparison of the level of ionosphere disturbances at several GNSS stations // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 64.
130. Tkachev I., Vasilyev R.V., Mikhalev A.V., Podlesny S., Setov A. Statistical characteristics of flashes in the atmosphere based on CCD photometer data // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 95.
131. Tsegmed B., Potapov A.S. ULF bursts accompanying solar wind sudden impulses // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 29.
132. Valori G., Pariat E., Anfinogentov S., Chen F., Georgoulis M.K., Guo Y., Liu Y., Moraitis K., Thalmann J.K., Yang S. Magnetic Helicity Estimations in Models and Observations of the Solar Magnetic Field. Part I: Finite Volume Methods // EGU General Assembly – 2017. Vienna, Austria, April 23–28, 2017: Abstracts. 2017. V. 19. P. 3692. <http://www.egu2017.eu/>.
133. Vasilyev R.V., Mikhalev A.V., Medvedeva I.V., Zhrebtsov G.A., Beletsky A.B., Syrenova T. Fabry–Perot interferometer KEO Scientific ARINAE for airglow observation in the Eastern Siberia: first results // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 98.
134. Vasilyev R.V., Beletsky A.B., Medvedeva I.V., Mikhalev A.V., Podlesny S., Syrenova T., Tashchilin M.A., Tkachev I. Complex of the optical instruments for upper atmosphere studying in the East Siberia // International Space Weather Meridian Circle Program Workshop (IMCP2017). Qingdao, China, May 15–17, 2017: Abstracts. 2017. <http://imcp2017.csp.escience.cn/dct/page/65541>.
135. Wang Z., Shi S., Wang G., Wang X., Ratovsky K.G., Romanova E.B. Strong range SF observed in low latitude ionosphere over Ascension IS in Atlantic ocean // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 1048. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.
136. Yasyukevich A., Yasyukevich Yu.V., Mylnikova A.A. Validation of the technique for absolute total electron content and differential code biases estimation // EGU General Assembly – 2017. Vienna, Austria, April 23–28, 2017: Abstracts. 2017. Art. #. EGU2017-650. <http://www.egu2017.eu/>.
137. Yasyukevich A., Voeykov S.V., Mylnikova A.A. Ionospheric variations during sudden stratospheric warming in the high and mid-latitude regions // EGU General Assembly-2017. Vienna, Austria, April 23–28, 2017: Abstracts. 2017. V. 19. Art. #. EGU2017-635. P. 635. <http://www.egu2017.eu/>.
138. Yasyukevich Yu.V., Ratovsky K.G., Yasyukevich A., Klimenko M., Klimenko V., Chirik N. Morphology of the winter anomaly in N_mF2 and total electron content // EGU General Assembly – 2017. Vienna, Austria, April 23–28, 2017: Abstracts. 2017. V. 19. Art. #. EGU2017-670. P. 670. <http://www.egu2017.eu/>.
139. Yasyukevich A., Yasyukevich Yu.V., Mylnikova, A.A. Regular TEC variations in mid-latitude and polar regions // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 160. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.
140. Yasyukevich A., Chernigovskaya M. A., Mylnikova A.A., Shpynev B.G., Khabituev D.S. Seasonal and heliogeomagnetic activity pattern of the ionospheric variability over Russia's Eastern Siberia and Far East Region from the GPS/GLONASS data // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 799. <http://piers.org/piers2017StPetersburg/>.
141. Yasyukevich A., Chernigovskaya M. A., Mylnikova A.A., Shpynev B.G. Solar and

meteorological control of the high-frequency total electron content variability // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 60–61.

142. Yasyukevich Yu.V., Yasyukevich A., Zhivet'ev I.V. Global electron content in the 23rd and 24th solar cycles // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 67.

143. Yasyukevich Yu.V., Kalegaev V.V., Zhivet'ev I.V., Kovyazina N., Vlasova N. The 2015 June 22–23 storm effects: from the Sun to the Earth // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 105.

144. Yasyukevich Yu.V., GNSS-lab team. Ionosphere researches based on global navigation satellite system data // Russian-British Seminar of Young Scientists “Dynamical Plasma Processes in the Heliosphere: From the Sun to the Earth”. Irkutsk, Russia. 18–21 September 2017: Abstracts and Program. Irkutsk, 2017. P. 22.

145. Yazev S.A., Tomozov V.M., Isaeva E.S. Conditions for solar flare generation // The International Conference on Astronomy and Geophysics in Mongolia 2017. 20–22 July 2017, Ulaanbaatar, Mongolia: Program. 2017. <https://iag.mn/en/index.php?pid=136>.

146. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Rudenko G.V., Obridko V.N. Variations in the characteristics of the sunspot umbra magnetic field during flares and coronal mass ejections // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 8–9.

147. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Rudenko G.V., Obridko V.N. Comparison between magnetic properties and umbra area of western and eastern sunspots with different asymmetry of the connecting magnetic field // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 9–10.

148. Zakharov V.I., Yasyukevich Yu.V., Pronin V.E. The method to use GPS observations for statistical evaluation of the diagnostics slips level of total electron content at different latitudes // PIERS-2017. Progress in Electromagnetics Research Symposium. May 22–25, 2017. St. Petersburg, Russia: Abstracts. St. Petersburg, 2017. P. 481. <http://piers.org/piers2017/StPetersburg/>.

149. Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I., Kirichenko K. Solar variability manifestations in weather and climatic characteristics // Variability of the Sun and its Terrestrial Impact. Second VarSITI General Symposium. Irkutsk, July 10–15, 2017: Abstracts. Irkutsk, 2017. P. 40.

150. Zimovets I.V., Sharykin I.N., Wang R., Liu Y., Kosovichev A.G. Relationship between hard X-ray footpoint sources and photospheric electric currents in solar flares: a statistical study // AGU Fall Meeting. New Orleans, 2017, 11–15 December: Abstracts. 2017. # SH41A-2751. <https://agu.confex.com/agu/fm17/meetingapp.cgi/Home/0>.

151. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В. События зимнего атмосферного блокирования в Западной Сибири в 2004–2016 гг. и их связь с аномалиями приземной температуры воздуха // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2017). Санкт-Петербург, 27–30 июня 2017 г.: Тезисы докладов. 2017. С. 225. <http://www.rrc.phys.spbu.ru/msard17.html>.

152. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В., Мордвинов В.И. Особенности развития процессов летнего атмосферного блокирования на территории Сибири и Дальнего Востока в летний период // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 149. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

153. Анфиногентов С.А. Диагностика магнитного поля в основании короны Солнца методами гирорезонансной магнитографии // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 11.

154. Артамонов М.Ф., Васильев Р.В. Моделирование изображений интерферометра

Фабри–Перо KEO Scientific “ARINAE” // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 142. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

155. Афанасьев А.Н. Численное моделирование взаимодействия крупномасштабных корональных волн с корональными магнитными структурами // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 12.

156. Балыбина А., Караханян А.А. Динамика индекса континентальности климата на территории Предбайкалья // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 159. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

157. Васильев Р.В., Михалев А.В., Медведева И.В., Жеребцов Г.А., Белецкий А.Б., Артамонов М.Ф., Сыренова Т.Е. Регистрация ветра и температуры верхней атмосферы в Восточной Сибири при помощи интерферометра Фабри–Перо KEO Scientific “ARINAE” // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 118. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

158. Васильев Р.В., Клименко М.В., Клименко В.В. Некоторые особенности поведения скорости горизонтального ветра на высотах верхней атмосферы зимой в Восточной Сибири // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 141. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

159. Васильев Р.В., Михалев А.В., Жеребцов Г.А., Медведева И.В. Температура и ветер в верхней атмосфере в регионе Восточной Сибири по данным интерферометрических измерений // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 146. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

160. Васильева Л.А. Влияние геомагнитных возмущений на температуру воздуха в тропосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 82.

161. Глоба М.В., Васильев Р.В., Ясюкевич Ю.В. Одновременные наблюдения ионосферных мерцаний в метровом и дециметровом диапазоне в направлении магнитного зенита // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 178. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

162. Глоба М.В., Васильев Р.В., Ясюкевич Ю.В. Одновременные наблюдения ионосферных мерцаний в метровом и дециметровом диапазонах в направлении магнитного зенита // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 43.

163. Горяшин В.Е., Еселевич М.В., Коробцев И.В., Цуккер Т.Г. Наблюдения некаталогизированных объектов космического мусора на телескопе АЗТ-33ВМ // X Международная конференция «Околоземная астрономия». Краснодар, 2–6 октября 2017 г.: Тезисы докладов. Краснодар, 2017. С. 45. <http://agora.guru.ru/display.php?conf=oza-2017>.

164. Demyanov V.V., Yasyukevich Yu.V., Jin S. Detection of small-scale ionospheric irregularities using GNSS phase second-order derivative // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 179. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

165. Дерес А.С., Анфиногентов С.А. Диагностика поперечного распределения температуры в корональных структурах, связанных с тенью пятна, по наблюдениям 3-минутных колебаний // Междунар. Байкальская молодежн. науч. школа по фундамент. физике. XV

Конф. мол. ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 11–16 сентября 2017 г., Иркутск: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 14.

166. Добрынин В.А., Сорокин А.Г. Модернизация инфразвуковой станции ИСЗФ на основе микроконтроллера STM32 // Междунар. Байкальская молодежн. науч. школа по фундамент. физике. XV Конф. мол. ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 11–16 сентября 2017 г., Иркутск: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 85.

167. Егоров Я.И., Файнштейн В.Г. Генерация ударной волны, связанной с КВМ, в поле зрения коронографа LASCO C3 // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 15.

168. Едемский И.К. Динамика ионосферы по данным ПЭС на интервале 1994–2004 гг. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 3–7 июля 2017 г., Иркутск: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 175. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

169. Золотухина Н.А., Куркин В.И., Полех Н.М. Ионосферные возмущения, вызванные комплексной межпланетной структурой над Восточной Азией: декабрь 2015 г. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 3–7 июля 2017 г., Иркутск: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 163. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

170. Зоркальцева О.С., Мордвинов В.И. Изучение динамических процессов в стратосфере во время внезапных стратосферных потеплений с использованием нелинейной баротропной дивергентной модели циркуляции // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 85.

171. Зуев А.В., Иванов Д.В., Иванов В.А., Рябова Н.В., Рябова М.И., Ясюкевич Ю.В., Воейков С.В. Сравнительный анализ интенсивностей ПЭС ионосферы над городами Йошкар-Ола и Иркутск // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 174. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

172. Исаева Е.С., Язев С.А., Томозов В.М. О пространственно-временном расположении протонных вспышек на солнечной поверхности // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 18.

173. Ишин А.Б., Воейков С.В. Определение параметров ионосферного отклика на включение двигателей космического корабля «Прогресс» по данным ГНСС // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 3–7 июля 2017 г., Иркутск: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 179. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

174. Капустин В.Э., Мишин В.М., Лунюшкин С.Б. Сравнение карт распределения продольных токов в ионосфере, рассчитанных на основе методов ТИМ и KRM/AMIE // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 45.

175. Караханян А.А., Молодых С.И. Изменение влажности с высотой в циклонах при внешнем воздействии // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 168. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

176. Кириченко К.Е., Белоусова Е.П., Коваленко В.А., Молодых С.И. Изменения гидрометеорологических характеристик в Тихоокеанском регионе в период климатического сдвига 1976–1977 // Международная Байкальская молодежная научная школа по фунда-

ментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 87.

177. Киселев В.И., Гречнев В.В., Кочанов А.А., Уралов А.М. Выход ускоренных протонов в солнечных эруптивных событиях // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 18–19.

178. Кичатинов Л.Л., Непомнящих А.А. Объединенная модель динамо и дифференциального вращения // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 19–20.

179. Клименко М. В., Клименко В.В., Захаренкова И.Е., Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С., Чирик Н.В., Ратовский К.Г. Использование данных приемников сигналов ГНСС и моделей верхней атмосферы для излучения глобальной структуры ионосферы в спокойных условиях и во время магнитосферных и атмосферных возмущений // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 173. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

180. Кобец В.С., Лесовой С.В. Анализ помех, влияющих на данные Сибирского радиогелиографа // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 21.

181. Ковадло П. Г., Коняев П.А., Копылов Е.А., Лукин В.П., Селин А.А., Шиховцев А.Ю. Работы по набору данных измерения турбулентности в различные сезоны года // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 46. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

182. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Лукин В.П. О динамике преломляющих свойств атмосферы в месте расположения Большого солнечного вакуумного телескопа // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 47. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

183. Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Лукин В.П., Носов В.В., Еселевич М.В., Копылов Е.А., Шиховцев А.Ю., Авдеев Ф.А. О спектральном составе атмосферных турбулентных оптических искажений по наблюдениям на солнечных телескопах // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 47. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

184. Ковязина Н.А., Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В. Глобальная структура ионосферных возмущений по данным GPS/ГЛОНАСС во время магнитных бурь 5–6 августа 2011 г. и 24–25 октября 2011 г. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 171. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

185. Кондратьев А.Б., Пенских Ю.В., Лунюшкин С.Б. Автоматизированный метод определения границ аврорального овала на основе техники инверсии магнитограмм // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 48.

186. Костарев Д.В., Магер П.Н. Дрейфово-компрессионные волны, распространяющиеся в направлении дрейфа энергичных электронов в магнитосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 48–49.

187. Котова Д.С., Оводенко Д.С., Ясюкевич Ю.В., Клименко М.В., Мыльникова А.А., Козловский А.Е. Апробация метода коррекции модели ионосферы по данным приемников сигналов ГНСС в высокоширотном регионе // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 174. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

188. Котова Д.С., Оводенко Д.С., Ясюкевич Ю.В., Клименко М.В., Мыльникова А.А., Ратовский К.Г. Апробация метода коррекции модели ионосферы по данным приемников сигналов ГНСС в Сибирском регионе // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 49.

189. Кудрявцева А.В., Просовецкий Д.В. Корональные полярные джеты по данным STEREO в период с 2009 по 2014 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 22.

190. Куркин В.И., Медведева И.В., Чистякова Л.В., Подлесный А.В., Орлов А.И., Пономарчук С.Н., Науменко А.А., Думбрава З.Ф., Поддельский И.Н., Татарников А.В. Исследование среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений в Азиатском регионе России во время внезапного стратосферного потепления 2016 г. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 117. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

191. Кушнарченко Г.П., Кузнецова Г.М., Яковлева О.Е. Электронная плотность на высотах ионосферного слоя F1 на станции Иркутск // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 125. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

192. Лавыгин И.А., Лебедев В.П., Гркович К.В., Бернгардт О.И. Исследование тонкой структуры сигналов обратного рассеяния по данным радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 67–68.

193. Ларюнин О.А., Куркин В.И., Салимов Б.Г., Подлесный А.В., Бернгардт О.И. Статистическое исследование летних аномальных отражений ионосферы на основе данных Иркутского ЛЧМ-ионозонда 2012–2016 гг. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 126. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

194. Ларюнин О.А. Лучевые траектории при распространении радиоволн в косинусном слое ионосферной плазмы // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 127. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

195. Латышев С.В. Оценка альфа-эффекта теории динамо по данным наблюдений // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 22.

196. Липунов В.М.,..., Язев С.А. и др. Ранние оптические наблюдения глобальной сетью телескопов-роботов «Мастер» 10 гамма-всплесков в сравнении с их гамма-рентгеновскими характеристиками // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 23–24.

197. Лоптева Л.С., Кушталь Г.И., Прошин В.А., Скоморовский В.И. Разработка поляризационных устройств для СОЛСИТ // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 25.
198. Медведев А.В., Ратовский К.Г., Толстиков М.В. Внутренние гравитационные волны в верхней атмосфере Земли // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 9. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.
199. Медведев А.В., Ратовский К.Г., Толстиков М.В., Алсаткин С.С. Исследование ветровой фильтрации внутренних гравитационных волн по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния и ионозонда DPS-4 // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 128. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.
200. Медведева И.В., Семенов А.И. Температурный и динамический режим среднеширотной мезопаузы в периоды внезапных стратосферных потеплений по наблюдениям гидроксильного излучения // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2017). Санкт-Петербург, 27–30 июня 2017 г.: Тезисы докладов. Санкт-Петербург, 2017. С. 243–245. <http://www.rtc.phys.spbu.ru/msard17.html>.
201. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Проявление эффектов минорного и финального стратосферных потеплений на высотах мезопаузы — нижней термосферы (МНТ) и F2-слоя ионосферы // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 120. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.
202. Михалев А.В. Излучение верхней атмосферы в эмиссии [OI] нм в периоды экстремальных событий Эль-Ниньо/Ла-Ниньо в 23–24 солнечных циклах // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 146. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.
203. Мишина М.Н., Коробцев И.В. Исследование особенностей фотометрических характеристик космических объектов в широком диапазоне фазовых углов // X Международная конференция «Околоземная астрономия». Краснодар, 2–6 октября 2017 г.: Тезисы докладов. Краснодар, 2017. С. 42. <http://agora.guru.ru/display.php?conf=oza-2017>.
204. Морозова А.Д., Кочанов А.А., Синеговская Т.С., Синеговский С.И. Флейворные и зарядовые отношения атмосферных нейтрино высоких энергий // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 27–28.
205. Муратова Н.О., Муратов А.А., Кашапова Л.К. Результаты первых наблюдений нового солнечного спектрополяриметра метрового диапазона (ССМД) // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 28.
206. Мыльникова А.А., Ясюкевич Ю.В., Иванов В.Б. Определение абсолютного полного электронного содержания по одночастотным GPS/ГЛОНАСС данным // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 175. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.
207. Мыльникова А.А., Ясюкевич Ю.В., Иванов В.Б. Получение абсолютного полного электронного содержания по одночастотным данным глобальных навигационных спутниковых систем // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 53.

208. Науменко А.А., Подлесный А.В. Модернизация передающего и приемного оборудования сети ЛЧМ-зондирования // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 91.

209. Непомнящих И.И., Едемский И.К. Наблюдение локализованных повышений ПЭС по данным глобальных ионосферных карт // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 54.

210. Пенских Ю.В. Группировка больших объемов информации по вычисляемым признакам с помощью реляционных баз данных // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 70.

211. Перевалова Н. П., Жеребцов Г.А. Регистрация по данным GPS/ГЛОНАСС отклика тоносферы на первый запуск ракеты с космодрома Восточный // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 170. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

212. Перевалова Н.П., Бернгардт О.И., Подлесный А.В., Шестаков Н.В. Исследование ионосферных эффектов землетрясений на больших расстояниях от эпицентров // VIII Международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений». Паратунка, Камчатский край, 25–29 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2017. С. 33. <http://www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/2017-VIII-international/index.html>.

213. Подлесный А.В. ЛЧМ-приемник с использованием программно-определяемых систем // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 71.

214. Пономарчук С.Н., Ким А.Г., Котович Г.В., Пензин М.С. Определение параметров ионосферы по данным возвратно-наклонного зондирования // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 119. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

215. Романов К.В., Романов Д.В., Еселевич М.В. Генерация ударных МГД-волн в верхних слоях солнечной хромосферы магнитными полями, всплывающими с подфотосферного уровня // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 32.

216. Рубцов А.В., Магер П.Н., Чуйко Д.А., Климушкин Д.Ю. Ультранизкочастотные компрессионные колебания в магнитосфере. Анализ данных спутниковой системы THEMIS // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 56.

217. Рубцов А.В., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н., Чуйко Д.А. Ультранизкочастотные компрессионные колебания в магнитосфере. Анализ данных спутниковой системы THEMIS // VI Международная молодежная научная школа-конференция, посвященная 75-летию НИЯУ МИФИ и 95-летию акад. Н.Г. Басова «Современные проблемы физики и технологий». Москва, 17–21 апреля 2017 г.: Тезисы докладов. М.: НИЯУ МИФИ, 2017. Ч. 2. С. 290. <http://magistr.mephi.ru/school/>.

218. Русских И.В., Шиховцев А.Ю., Чупраков С.А., Пуляев В.А. Модернизация солнечных телескопов для использования систем адаптивной оптики // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция

молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 34.

219. Семенов А.И., Перминов В.И., Медведева И.В., Хомич В.Ю. Пространственно-временные распределения характеристик ИК-эмиссий атомарного кислорода (63 мкм) и углекислого газа (15 мкм) в верхней атмосфере // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2017). Санкт-Петербург, 27–30 июня 2017 г.: Тезисы докладов. Санкт-Петербург, 2017. С. 252–253. <http://www.rtc.phys.spbu.ru/msard17.html>.

220. Семенов А.И., Медведева И.В., Перминов В.И., Хомич В.Ю. Эмпирическая модель вариаций инфракрасного излучения 15 мкм молекулы двуокиси углерода // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 152. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

221. Сетов А.Г., Медведев А.В., Лебедев В.П., Кушнарев Д.С., Алсаткин С.С., Ташлыков В.П. Методы калибровки для обеспечения абсолютных измерений на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 141. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

222. Сетов А.Г., Лебедев В.П., Медведев А.В., Кушнарев Д.С. Абсолютные изменения мощности на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 56.

223. Смольков Г.Я. Внешние причины изменчивости атмосферы и климата // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 121. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

224. Сорокин А.Г. О нештатной ситуации на космическом корабле «Прогресс-МС04» в декабре 2016 г. // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 142. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

225. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Тащилин М.А., Михалев А.В., Подлесный С.В. Вариации излучения высоко- и среднеширотной верхней атмосферы в периоды высокой геомагнитной активности // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 95.

226. Сыроватский С.И., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М. Измерение мерцаний навигационного сигнала с использованием оборудования NOVALEL GPStation-6 на средних широтах // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 57.

227. Ташлыков В.П., Медведев А.В. Разработка метода определения температур ионосферной плазмы с учетом эффекта Фарадея для Иркутского радара некогерентного рассеяния // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 32. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

228. Ташлыков В.П., Медведев А.В. Корреляционная методика определения электронных и ионных температур для Иркутского радара некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 73.

229. Тащилин М.А., Белецкий А.Б. Предварительные результаты регистрации эмиссий авроральной атмосферы широкоугольными камерами всего неба на станции «ИСТОК» // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 95.

230. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Михалев А.В., Подлесный С.В., Сетов А.Г. Статистические характеристики вспышек в атмосфере Земли в средних широтах по данным ПЗС-фотометра // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 76. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

231. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Михалев А.В., Подлесный С.В., Сетов А.Г. Регистрация оптических вспышек в атмосфере Земли в средних широтах с помощью ПЗС-фотометра // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 96–97.

232. Томин В.Е., Киселев А.В., Русских И.В. Исследование макета поляриметра СОЛСИТ // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 36.

233. Федоров Р.Р., Бернгардт О.И. Метеорные наблюдения на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 75.

234. Федотова А.Ю., Алтынцев А.Т., Лесовой С.В., Кочанов А.А. Первые наблюдения эруптивного протуберанца, зарегистрированного Сибирским радиогелиографом, в диапазоне частот 4–8 ГГц // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 38.

235. Челпанов М.А., Магер О.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю., Бернгардт О.И. Наблюдения длиннопериодных пульсаций в ночной магнитосфере с помощью Екатеринбургского когерентного среднеширотного радара // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 58.

236. Чуйко Д.А. Влияние альфвеновского резонанса на основную моду, генерируемую неустойчивостью на магнитопаузе // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 61.

237. Шагимуратов И.И., Едемский И.К. Реакция ТЕС ионосферы над Европой на магнитную бурю 2 октября 2013 года по GPS/ГЛОНАСС измерениям // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 181. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

238. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Лукин В.П. Об определении характеристик атмосферной турбулентности на разных широтах по данным реанализа // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД-2017). Санкт-Петербург, 27–30 июня 2017 г.: Тезисы докладов. Санкт-Петербург, 2017. С. 209. <http://www.grc.phys.spbu.ru/msard17.html>.

239. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Киселев А.В. О динамике эффективной скорости атмосферных турбулентных течений в горных районах юга Восточной Сибири // Международная Байкальская молодежная научная школа по фунда-

ментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 98.

240. Яковлева О.Е., Кушнарченко Г.П., Кузнецова Г.М. Электронная концентрация на высотах слоя F1 в минимуме солнечной активности над Норильском // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 99.

241. Ясюкевич Ю.В., Перевалова Н.П., Воейков С.В. Исследования верхней атмосферы с помощью ГНСС в ИСЗФ СО РАН // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 13. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

242. Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В., Ясюкевич А.С., Воейков С.В., Захаров В.И., Перевалова Н.П., Титков Н.Н. Влияние ионосферной и магнитосферной возмущенности на сбои глобальных навигационных спутниковых систем // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 173. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

243. Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В. Ионосферные вариации во время действия тайфунов осени 2016 г. по данным GPS/ГЛОНАСС // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 174. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

244. Ясюкевич А.С., Черниговская М.А., Мыльникова А.А., Шпынев Б.Г. Сезонные вариации волновой возмущенности ионосферы по данным GPS/ГЛОНАСС над Восточно-сибирским регионом // XXIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 3–7 июля 2017 г.: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2017. С. 181. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/23/i2>.

245. Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В. Глобальное электронное содержание в 23 и 24 циклах солнечной активности // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. XV Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 11–16 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Иркутск, 2017. С. 62.

246. Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Иванов В.Б. Возможности одночастотных данных GPS/ГЛОНАСС для расчета вертикального полного содержания электронов // VIII Международная конференция «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений». Паратунка, Камчатский край, 25–29 сентября 2017 г.: Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2017. С. 12. <http://www.ikir.ru/ru/Events/Conferences/2017-VIII-international/index.html>.

7.7. Монографии, патенты

1. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Язев С.А. Климатические особенности распределения тепла в приземном слое атмосферы в полярных областях Земли // Жизнь и Вселенная: коллективная монография / под ред. Обридко В.Н., Рагульской М.В. СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. С. 180–186. ISBN 978-5-9651-1061-2. http://idg.chph.ras.ru/ru/watch/monographs_and_schoolbooks.

2. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Поведение индекса Fe/O как показатель физических свойств солнечной плазмы при развитии вспышечных потоков ускоренных частиц // Наземно-космический мониторинг динамики геосфер / под ред. Жантаева Ж.Ш. Алматы, 2017. С. 133–147. ISBN 978-601-06-4358-1.

3. Язев С.А., Сотникова Р.Т., Климушкин Д.Ю. / ред. В.Г. Сурдин. Астрономия. 10–11 классы: учебно-метод. пособие для общеобразовательных организаций Иркутск:

Мегапринт, 2017. 239 с. ISBN: 978-5-905624-49-0.

4. Пат. 2624911. Г. А. Жеребцов, Н. П. Перевалова. Способ обнаружения возмущений ионосферы, вызванных запусками космических аппаратов. № 2016125957; Заявл. 28.06.2016; Оpubл. 10.07.2017, Бюл. № 19. Введ. с 10 июля 2017 г.

5. Пат. RU2017612228. Куркин В.И., Ильин Н.В., Пензин М.С., Пономарчук С.Н., Потехин А.П., Хахинов В.В. Расчет модовой структуры сигнала на КВ радиотрассах на основе метода нормальных волн. № 2016661141; Заявл. 24.10.2016; Оpubл. 17.02.2017, Бюл. № 2.

6. Пат. RU2017612228. Куркин В.И., Ильин Н.В., Пензин М.С., Пономарчук С.Н., Потехин А.П., Хахинов В.В. Расчет характеристик нормальных волн в декаметровом волноводе Земля–ионосфера. № 2016661185; Заявл. 24.10.2016; Оpubл. 03.04.2017, Бюл. № 4.

7. Скоморовский В.И., Прошин В.А., Кушталь Г.И. Заявка на изобретение «Способ нанесения покрытий в вакууме». № 2017 112 918 от 13.04.2017.

7.8. Электронные публикации

1. Berngardt O.I., Ruohoniemi J.M., Nishitani N., Shepherd M., Bristow W., Miller E.S. Attenuation of decameter sky noise during X-ray solar flares in 2013–2017 based on the observations at midlatitude radars: electronic resource // arXiv.org. 2017. Ст. 1709.01259v1. <https://arxiv.org/pdf/1709.01259.pdf>.

2. Berngardt O.I., Fedorov R.R., The first results of monitoring observations of a meteor echo at ISTP SB RAS EKB radar: algorithms, validation, statistics // arXiv.org. 2017. Ст. 1710.07414v1. <https://arxiv.org/pdf/1710.07414.pdf>.

3. Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Ratovsky K.G., Belinskaya A.Yu., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Grigorieva S.A., Panchenko V.A., Korenkova N.A., Mielich J. Ionospheric response to winter stratosphere/lower mesosphere jet stream in the Northern Hemisphere as derived from vertical radio sounding data // J. Atmosph. Solar-Terr. Phys. 2017. DOI: 10.1016/j.jastp.2017.08.033.

4. Chernov G.P., Fomichev V.V., Sych R.A. Comparison of alternative zebra-structure models in solar radio emission // arXiv.org. 2017. Ст. 1704.02528. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1704/1704.02528.pdf>.

5. Deres A., Anfinogentov S. Probing the sunspot atmosphere with three-minute oscillations // arXiv.org. 2017. Ст. 1710.11552v1. <https://arxiv.org/pdf/1710.11552.pdf>.

6. Fleishman G.D., Anfinogentov S., Loukitcheva M., Mysh'akov I.I., Stupishin A. Casting the coronal magnetic field reconstruction tools in 3D using MHD Bifrost model // arXiv.org. 2017. Ст. 1703.06360v1. <https://arxiv.org/pdf/1703.06360.pdf>.

7. Guo Y., Pariat E., Valori G., Anfinogentov S., Chen F., Georgoulis M.K., Liu Y., Moraitis K., Thalmann J.K., Yang S. Magnetic helicity estimations in models and observations of the solar magnetic field. Part III: Twist number method // arXiv.org. 2017. Ст. 1704.02096. <https://arxiv.org/pdf/1704.02096.pdf>.

8. Katsova M.M., Kitchatinov L.L., Livshits M.A., Moss D., Sokoloff D.D., Usoskin I.G. Can superflares occur on the Sun? A view from dynamo theory // arXiv.org. 2017. Ст. 1710.00015v1. <https://arxiv.org/pdf/1710.00015.pdf>.

9. Khorunzhev G.A., Burenin R.A., Sazonov S.Yu., Amvrosov A.L., Eselevich M.V. Optical spectroscopy of candidates for quasars at $z \approx 5.5$ from the XMM neutron X-ray survey. A distant X-ray quasar at z // arXiv.org. 2017. Ст. 1701.08820v1. <https://arxiv.org/pdf/1701.08820.pdf>.

10. Kitchatinov L.L. Double Hall instability – a catalyzer of magnetic energy release // arXiv.org. 2017. Ст. 1705.10077. <https://arxiv.org/pdf/1705.10077.pdf>.

11. Kitchatinov L.L., Nepomnyashchikh A.A. How supercritical are stellar dynamos, or why do old main-sequence dwarfs not obey gyrochronology? // arXiv.org. 2017. Ст. 1706.02814. <https://arxiv.org/pdf/1706.02814.pdf>.

12. Lavygin I.A., Lebedev V.P., Grkovich K., Berngardt O.I. Analysis of the fine structure of HF ground backscatter and ionospheric scatter signals based on EKB radar data // arXiv.org. 2017. Ст. 1711.08134v1. <https://arxiv.org/pdf/1711.08134.pdf>.
13. Lesovoi S.V., Altyntsev A.T., Kochanov A.A., Grechnev V.V., Gubin A.V., Zhdanov D.A., Uralov A.M. Siberian Radioheliograph: first results // arXiv.org. 2017. Ст. 1704.07100. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1704/1704.07100.pdf>.
14. Lesovoi S.V., Kobets V.S. Correlation plots of the Siberian Radioheliograph // arXiv.org. 2017. Ст. 1705.10043. <https://arxiv.org/pdf/1705.10043.pdf>.
15. Medvedeva I., Ratovsky K. Effects of the 2016 February minor sudden stratospheric warming on the MLT and ionosphere over Eastern Siberia // J. Atmosph. Solar-Terr. Phys. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2017.09.007>.
16. Meshcheryakov A., Tsygankov S.S., Khamitov I., Shakura N., Bikmaev I., Eselevich M.V., Vlasyuk V. Evolution of broad-band SED during outburst rise in NS X-ray Nova Aql X-1 // arXiv.org. 2017. Ст. 1703.09159. <https://arxiv.org/pdf/1703.09159.pdf>.
17. Perminov V.I., Semenov A.I., Pertsev N.N., Medvedeva I.V., Dalin P.A., Sukhodoev V.A. Multi-year behaviour of the midnight OH* temperature according to observations at Zvenigorod over 2000–2016 // Adv. Space Res. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2017.07.020>.
18. Pipin V.V., Tomozov V.M. Large-scale magnetic fields and anomalies of chemical composition of stellar coronae // arXiv.org. 2017. # arxiv:1709.00855v2. <https://arxiv.org/pdf/1709.00855.pdf>.
19. Pipin V.V., Kosovichev A.G. On the origin of the double cell meridional circulation in the solar convection zone: electronic resource // arXiv.org. 2017. # 1708.03073v1. <https://arxiv.org/pdf/1708.03073.pdf>.
20. Potapov A.S., Polyushkina T.N., Guglielmi A.V. Troitskaya–Bolshakova effect as a manifestation of the solar wind wave turbulence // Planetary and Space Sci. In Press, Corrected Proof. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2017.11.008>.
21. Shpynev B.G., Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Ratovsky K.G., Chernigovskaya M.A., Belinskaya A., Stepanov A.E., Bychkov V., Grigorieva S.A., Panchenko V.A., Korenkova N.A., Mielich J. The ionosphere response to severe geomagnetic storm in March 2015 on the base of the data from Eurasian high-middle latitudes ionosonde chain – JASTP. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2017.10.014>.
22. Rudenko G.V., Anfinogentov S. Algorithms of the potential field calculation in a three dimensional box // arXiv.org. 2017. Ст. 1706.02814. <https://arxiv.org/pdf/1706.04352.pdf>.
23. Rudenko G.V., Dmitrienko I.S. Examination of artifact in vector magnetic field SDO/HMI measurements // arXiv.org. 2017. # 1711.08156v1. <https://arxiv.org/pdf/1711.08156.pdf>.
24. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Rudenko G.V., Obridko V.N. On the nature of the magnetic field asymmetry in magnetically coupled leading and following sunspots // arXiv.org. 2017. Ст. 1711.08895v1. <https://arxiv.org/pdf/1711.08895.pdf>.
25. Zhang B.-B., Zhang B., ..., Klunko E., et. al. Transition from fireball to Poynting-flux-dominated outflow in the three-episode GRB 160625B // Nature Astronomy: Online Journal. 2017. <https://www.nature.com/articles/s41550-017-0309-8>.

7.9. Статьи, сданные в печать в российские издания

1. Боровик А.В., Жданов А.А. Статистические исследования солнечных вспышек малой мощности. Распределение вспышек по времени подъема яркости к максимуму // Геомагнетизм и аэронавигация.
2. Безлер И.В., Ишин А.Б., Конечная Е.В., Тинин М.В. Эффект анизотропии ионосферных неоднородностей при регистрации сбоя фазовых измерений ГНСС // Геомагнетизм и аэронавигация.

3. Григорьев В.М., Л.В. Ермакова. Движение магнитных образований в полутени солнечного пятна и его окружении // Астрон. журнал.
4. Григорьева С.А., И.П. Турова, О.А. Ожогина. Вариации формы контуров линии К CaII и распространение волновых движений в различных структурных образованиях спокойной хромосферы и флоккулах // Солнечно-земная физика.
5. Гульельми А.В., Потапов А.С., Довбня Б.В. Влияние ориентации ММП на северо-южную асимметрию УНЧ волновых пакетов в полярных шапках // Геофиз. иссл.
6. Довбня Б.В., Потапов А.С. Исследование частотной модуляции серпентинной эмиссии // Физика Земли.
7. Кушнаренко Г.П., Яковлева О.Е., Кузнецова Г.М. Электронная концентрация на высотах ионосферного слоя F1 в минимуме последнего цикла солнечной активности // Солнечно-земная физика.
8. Ларюнин О.А. Оценка параметров перемещающихся ионосферных возмущений по ионограммам вертикального зондирования // Геомагнетизм и аэрономия.
9. Ларюнин О.А., Куркин В.И., Бернгардт О.И., Салимов Б.Г., Подлесный А.В. Статистическое исследование аномальных отражений ионосферы на основе данных Иркутского ЛЧМ-ионозонда 2012–2016 гг. // Геомагнетизм и аэрономия.
10. Ларюнин О.А. Траектории радиоволн, проходящих через косинусный слой ионосферной плазмы // Солнечно-земная физика.
11. Перминов В.И., Семенов А.И., Медведева И.В., Перцев Н.Н., Суходоев В.А. Спектральная структура вариаций температуры в области среднеширотной мезопаузы // Геомагнетизм и аэрономия.
12. Шпынев Б.Г., Жеребцов Г.А., Кушнарев Д.С., Воронов А.Л., Алсаткин С.С., Хабитуев Д.С. Определение полного профиля параметров ионосферы при одновременной регистрации ионной и электронной линий спектра на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // Солнечно-земная физика.
13. Шпынев Б.Г., Жеребцов Г.А., Кушнарев Д.С., Воронов А.Л., Алсаткин С.С., Хабитуев Д.С. Определение полного профиля параметров ионосферы при одновременной регистрации ионной и электронной линий спектра на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // Солнечно-земная физика.

7.10. Статьи, сданные в печать в зарубежные издания

1. Chelpanov M.A., Mager O.V., Mager P.N., Klimushkin D.Yu., Berngardt O.I. Properties of frequency distribution of Pc5-range pulsations observed with the Ekaterinburg decameter radar in the nightside ionosphere // J. Atmosph. Solar-Terr. Phys.
2. Edemskiy I., Lastovicka J., Buresova D., Habarulema J.B., Nepomnyashchikh I. Anomalous southern hemisphere ionospheric response to geomagnetic storm of 15 August 2015 // Annales Geophysicae.
3. Mishin V.V., Mishin V.M., Lunyushkin S.B., Kurikalova M.A., Karavaev Yu.A., Pu Z., Wang C., Wang J.Y., Sukhbaatar U. Positive feedback between ionosphere conductivity and field-aligned current intensity // Earth, Planets and Space.
4. Potapov A.S., Polyushkina T.N., Guglielmi A.V. Troitskaya-Bolshakova effect as a manifestation of the solar wind wave turbulence // Planetary Space Sci.
5. Potapov A.S. Current and high- β sheets in CIR streams: Statistics and interaction with the HCS and the magnetosphere // Astrophys. Space Sci.
6. Shpynev B.G., Zolotukhina N.A., Polekh N.M., Ratovsky K.G., Chernigovskaya M.A., Belinskaya A.Yu., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Grigorieva S.A., Panchenko V.A., Korenkova N.A., Mielich J. The ionosphere response to severe geomagnetic storm in March 2015 on the base of the data from Eurasian high-middle latitudes ionosonde chain // J. Atmosph. Solar-Terr. Phys.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Структура Института.....	2
2. Исследования в области физики Солнца, радиоастрофизики и космических лучей.....	5
2.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности.....	6
2.1.1. Измерения крупномасштабных магнитных полей Солнца.....	6
2.1.2. Исследование магнитного поля и движений плазмы в процессе возникновения и эволюции активных областей.....	7
2.1.3. Изменения магнитных полей и микроволнового излучения солнечной вспышки 11 февраля 2014 г.....	7
2.1.4. Глобальная реорганизация магнитных полей Солнца и формирование полярных корональных дыр в циклах 23 и 24.....	8
2.1.5. Развитие моделей солнечного и звездного динамо.....	9
2.2. Нестационарные и волновые процессы в солнечной атмосфере.....	10
2.2.1. Развитие методов 3-мерного моделирования вспышечных петель.....	10
2.2.2. Исследование процессов коронального энерговыделения.....	11
2.2.3. Исследование природы колебаний.....	12
2.2.4. Вариации профилей хромосферных спектральных линий.....	14
2.2.4.1. Исследование периодических вариаций профилей спектральных линий $\text{H}\alpha$ 6563 Å, CaII 8542 Å, HeI 10830 Å в области солнечных факелов.....	14
2.2.4.2. Вариации формы контуров линии K CaII и распространение волновых движений в различных структурных образованиях спокойной хромосферы и флоккулах.....	16
2.2.4.3. Необычная структура тени пятна по наблюдениям в двух спектральных диапазонах – области ультрафиолетового дублета (линии H и K) и двух линий инфракрасного триплета (849.8 нм и 854.2 нм) CaII	18
2.2.5. Мониторинг Солнца в оптическом диапазоне, расширение баз данных	19
2.2.6. Список использованных источников.....	20
2.3. Геоэффективные процессы в хромосфере и короне Солнца.....	21
2.3.1. Исследование процессов в солнечных вспышках.....	21
2.3.1.1. Выявлена многопетельная структура микроволновых источников в мощной продолжительной вспышке.....	21
2.3.1.2. Перенос частиц, ускоренных во вспышке, расширяющимся магнитным жгутом, в который они инжектируются при вспышечном пересоединении..	22
2.3.1.3. Статистические исследования солнечных вспышек малой мощности.....	23
2.3.1.4. Распределение вспышек по времени подъема яркости к максимуму	23
2.3.1.5. Статистические исследования солнечных вспышек малой мощности. Продолжительность главной фазы.....	24
2.3.1.6. Система послевспышечных петель по наблюдениям БСВТ.....	25

2.3.1.7. Градиент магнитного поля в области вспышки.....	27
2.3.1.8. Положение вспышечных лент относительно силовых линий магнитного поля.....	27
2.3.1.9. Увеличение шира магнитного поля вблизи линии раздела полярностей	28
2.3.2. Исследование солнечных эруптивных событий.....	28
2.3.2.1. Ударные волны в солнечном эруптивном событии.....	28
2.3.2.2. Развитие коронального выброса массы (КВМ), вызванного эрупцией протуберанца вне активных областей.....	30
2.3.2.3. Исследование природы взрывной и поршневой ударных волн, связанных с корональными выбросами массы.....	31
2.3.2.4. Эруптивные явления на фронтах взаимодействия магнитных потоков	32
2.3.2.5. Возникновение ударной волны, связанной с КВМ.....	32
2.3.2.6. Вариации магнитного поля пятен во время эрупции.....	33
2.3.2.7. Вертикальные токи в эруптивном событии.....	35
2.3.2.8. Токовая спиральность в эруптивном событии.....	36
2.3.2.9. Свободная энергия в эруптивном событии.....	36
2.3.2.10. Полярные джеты в короне Солнца на стыке двух циклов солнечной активности.....	37
2.3.3. Солнечные факторы космической погоды.....	38
2.3.3.1. Выполнен статистический анализ соотношений между параметрами околосолнечных протонных возмущений с энергиями >100 МэВ и потоками выше 0.1 pfu и разными параметрами солнечной эруптивной активности.....	38
2.3.3.2. Развитие нового метода ранней диагностики геоэффективности солнечных эрупций по магнитному потоку в постэруптивных аркадах и диммингах...	38
2.3.4. Моделирование процессов в солнечной короне.....	39
2.3.5. Наблюдения в интересах проекта.....	39
2.3.5.1. Мониторинг солнечной активности на хромосферных телескопах Байкальской астрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН.....	39
2.3.6. Список использованных источников.....	40
2.4. Радиоастрономические исследования динамических процессов в солнечной короне.....	41
2.4.1. Исследование структуры солнечных вспышек по многоволновым наблюдениям.....	41
2.4.2. Исследование механизмов ускорения частиц в солнечных вспышках	41
2.4.3 Развитие методов и инструментов для моделирования солнечного радиоизлучения.....	42
2.4.4. Список использованных источников.....	43
2.5. Развитие оптических и радиофизических методов в области астероидно-кометной опасности, техногенного засорения и экологии космического пространства.....	43

2.5.1. Исследование особенностей фотометрических характеристик космических объектов в широком диапазоне фазовых углов.....	43
2.5.2. Методика определения параметров орбит космических объектов, обнаруживаемых в обзорных наблюдениях ОКП.....	44
2.5.3. Обзорные наблюдения для поиска неизвестных астероидов. Координатные и фотометрические измерения астероидов.....	45
2.5.4. Программное обеспечение для оперативной обработки оптических изображений.....	46
2.5.5. Усовершенствованная система обмена данными при координированных наблюдениях радио- и оптическими инструментами.....	47
2.5.6. Список использованных источников.....	48
2.6. Фундаментальные основы мониторинга и контроля околоземного космического пространства в оптическом диапазоне.....	48
2.6.1. Расчет параметров отсекающей прямой засветки для телескопа АЗТ-33ВМ.....	48
2.6.1.1. Система светозащиты для поля зрения $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$	49
2.6.1.2. Система светозащиты для поля зрения $1.3^{\circ} \times 2.7^{\circ}$	49
2.6.2. Обзорные наблюдения околоземного космического пространства в оптическом диапазоне.....	50
2.6.2.1. Методика наблюдений.....	50
2.6.2.2. Определение орбит объектов КМ.....	51
2.6.2.3. Сравнение с известными разрушениями КА.....	52
2.6.3. Список использованных источников.....	52
2.7. Диагностика межпланетной среды по данным наблюдений космических лучей и космические лучи в гелиосферных процессах по наземным и стратосферным наблюдениям	52
2.7.1. Анализ форбуш-эффекта в марте 2015 г.....	52
2.7.1.1. Спектры вариаций и анизотропия КЛ.....	52
2.7.1.2. Магнитосферные токовые системы на разных фазах развития бури.....	55
2.7.2. Жесткости геомагнитного обрезания космических лучей в модели ограниченной магнитосферы с кольцевым током.....	57
2.7.3. Изучение тонкой структуры лент свечения вспышек в связи с физическими процессами выделения энергии в солнечных вспышках.....	58
2.7.4. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН.....	60
2.7.5. Список использованных источников.....	60
3. Исследования в области физики околоземного космического пространства.....	60
3.1. Развитие новых методов экспериментальных радиофизических исследований верхней атмосферы Земли и околоземного космического пространства.....	63

3.1.1. Исследование электронной концентрации внешней ионосферы с помощью различных методов измерений и различных моделей.....	63
3.1.2. Исследование взаимодействия внутренних гравитационных волн с нейтральным ветром на основе статистик перемещающихся ионосферных возмущений, полученных на независимых инструментах.....	64
3.1.3. Исследование эффекта магнитного зенита в различных диапазонах электромагнитных волн.....	65
3.1.4. Модернизация Иркутского радара некогерентного рассеяния.....	65
3.1.5. Теоретическое исследование уравнения радиолокации метода некогерентного рассеяния с учетом рефракции и эффекта Фарадея для ультракоротковолнового диапазона.....	66
3.1.6. Абсолютные измерения мощности на Иркутском радаре некогерентного рассеяния.....	67
3.1.7. Разработка метода определения температур ионосферной плазмы с учетом эффекта Фарадея для Иркутского радара некогерентного рассеяния....	68
3.1.8. Развитие методов определения абсолютного полного электронного содержания.....	69
3.1.9. Список использованных источников.....	70
3.2. Распространение волн различных диапазонов в ионосфере Земли...	70
3.2.1. Уравнение на спектр нормальных волн в модельном анизотропном волноводе Земля – ионосфера.....	70
3.2.2. Линейное взаимодействие мод в неоднородном многомодовом волноводе Земля – ионосфера, свойства матрицы трансформации нормальных волн	72
3.2.2.1. Волноводные уравнения.....	72
3.2.2.2. Матрица трансформации.....	73
3.2.2.3 Малый продольный градиент.....	74
3.2.2.4. Расчет матрицы трансформации.....	74
3.2.3. Результаты моделирования модовой структуры КВ-сигналов, рассеянных локализованными неоднородностями в ионосфере и шероховатостями земной поверхности.....	76
3.2.4. Прямая диагностика радиоканала по данным возвратно наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом.....	78
3.2.5. Список использованных источников.....	79
3.3. Исследование динамических процессов в магнитосфере и высокоширотной ионосфере Земли методом обратного рассеяния радиоволн коротковолнового диапазона.....	80
3.3.1. Развитие методов исследования ветров в верхней атмосфере Земли по наблюдениям метеорного эха на радаре ЕКВ.....	80
3.3.2. Разработка новых методов анализа рассеянных сигналов на радаре ЕКВ.....	81
3.3.3. Разработан и опробован метод калибровки радара ЕКВ по дальности по сигналам, рассеянным земной поверхностью.....	83

3.3.4. Исследована динамика продольных токов на взрывной фазе магнитосферных суббурь 20 ноября 2003 и 27 августа 2001 г.....	84
3.3.5. Проведен анализ ионосферных эффектов бури св. Патрика над Азиатским регионом РФ по данным комплекса инструментов.....	86
3.3.6. Создана база обработанных данных радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН.....	87
3.3.7. Список использованных источников.....	88
3.4. Создание сегмента мониторинга уровня ионосферных помех в азиатском регионе России, связанных с естественными неоднородностями полярной ионосферы.....	88
3.4.1. Проведен комплекс работ по развертыванию и тестовому запуску нового когерентного КВ-радара в п. Стекольный Магаданской области.....	88
3.4.2. Одновременные исследования радиоавроры методом обратного рассеяния в КВ и УКВ по данным радаров ИСЗФ СО РАН.....	82
3.4.3. Исследование влияния рентгеновских вспышек на уровень шума, измеряемый когерентными радарными в диапазоне 8–20 МГц.....	91
3.4.4. Апробирован индекс авроральных отражений по данным радара ЕКВ ИСЗФ СО РАН и введена в строй система круглосуточного мониторинга этого индекса.....	93
3.4.5. Список использованных источников.....	95
3.5. Исследование влияния солнечной активности и процессов в нижней атмосфере на изменения термодинамических характеристик атмосферы, Мирового океана и климат.....	95
3.5.1. Количественные оценки потоков тепла на границах океан–атмосфера–суша.....	95
3.5.2. Изучение связи между характеристиками ОЦА, региональным ветровым напряжением, ТПО и изменениями ТСМО.....	96
3.5.3. Изучение особенностей механизма влияния СА на тропосферу. Разработка параметризации физического механизма влияния СА на тропосферу для модели ОЦА.....	97
3.5.3.1. Особенности механизма влияния СА на тропосферу.....	97
3.5.3.2. Параметризация физического механизма влияния СА на тропосферу для модели ОЦА.....	98
3.5.4. Исследование связи динамики вертикального профиля температуры и влажности воздушных масс внетропических циклонов с геомагнитными возмущениями.....	98
3.5.5. Исследование долговременных изменений блокингов и крупномасштабных барических аномалий в тропосфере и стратосфере Северного полушария. Исследование низкочастотной изменчивости атмосферных процессов в диапазоне от 10 сут до 1–2 месяцев.....	100
3.5.6. Исследование межгодовых и многолетних вариаций эмиссий верхней мезосферы–мезопаузы: атмосферная эмиссия атомарного кислорода [OI] 557.7 нм, эмиссия дуплета натрия NaI 589.0–589.6 нм.....	102
3.5.7. Исследование аномального появления слоя F1 в зимних условиях....	102

3.5.8. Исследование процессов в системе термосфера-ионосфера во время геомагнитных возмущений и в спокойных условиях для длительного периода 2003–2015 гг. на основе данных измерений ионозондов на станциях Иркутск и Норильск.....	104
3.5.8.1. Анализ сезонных, суточных и годовых вариаций параметров слоя F2 по данным трех ионосферных станций разных широт.....	104
3.5.8.2. Анализ годовых вариаций электронной концентрации на высотах слоя F1.....	105
3.5.9. Исследование корреляции вариаций полного электронного содержания (ПЭС) на средних широтах с индексами солнечной и геомагнитной активности. Тестирование методики определения возмущенности ПЭС.....	105
3.5.9.1. Зависимость амплитуды суточных вариаций ГЭС и РЭС в Сибири от индекса солнечной активности F10.7.....	105
3.5.9.2. Исследование ионосферной возмущенности в средних и высоких широтах.....	106
3.5.9.3. Тестирование и совершенствование методики определения возмущенности ПЭС.....	107
3.5.10. Список использованных источников.....	108
3.6. Исследование системы литосфера–атмосфера–ионосфера в экстремальных условиях.....	108
3.6.1. Проведение координированных измерений параметров верхней атмосферы в Байкальском регионе с помощью комплекса геофизических инструментов, пополнение банков геофизических данных, предварительный анализ полученных данных.....	108
3.6.2. Комплексный анализ геофизических эффектов, вызванных искусственными воздействиями на верхнюю атмосферу.....	109
3.6.3. Статистический анализ ионосферных эффектов, генерируемых при землетрясениях поверхностными сейсмическими волнами.....	112
3.6.4. Список использованных источников.....	113
3.7. Изучение динамических процессов в системе нейтральная атмосфера – ионосфера – магнитосфера Земли.....	113
3.7.1. Оценка вклада волновых процессов различного временного масштаба в нижележащей атмосфере в температурный и динамический режим мезопаузы и F2-области ионосферы.....	113
3.7.2. Итоги исследования геомагнитной бури 17 марта 2015 г. по данным радиофизических и оптических наблюдений.....	114
3.7.3. Описание особенностей низкочастотной изменчивости метеорологических полей в тропосфере и стратосфере в спокойные периоды и во время стратосферных потеплений. Модель динамики полярного вихря во время стратосферных потеплений в баротропном приближении.....	119
3.7.4. Наблюдения кратковременных среднеширотных сияний синхронных с пульсациями геомагнитного поля.....	120
3.7.5. Идентификация причин и особенностей реакции ионосферы над Азиатским регионом во время наиболее сильной магнитной бури 24-го цикла солнечной активности.....	121

3.7.6. Анализ вариаций параметров магнитосферы во время суббурь с учетом данных сети магнитометров Северного и Южного полушарий.....	124
3.7.6.1. Насыщение магнитосферы в зависимости от вертикальной компоненты ММП и динамического давления СВ.....	124
3.7.6.2. Особенности формирования мелкомасштабных волновых возмущений во время резкого сжатия магнитосферы.....	124
3.7.7. Гипотеза “пинч-эффекта” открытых долей хвоста магнитосферы во время суббурь.....	124
3.7.8. Модернизация программного комплекса техники инверсии магнитограмм.....	126
3.7.8.1. Группировка больших объемов информации по вычисляемым признакам с помощью реляционных баз данных.....	126
3.7.8.2. Автоматизированный метод определения границ аврорального овала на основе техники инверсии магнитограмм.....	127
3.7.9. Список использованных источников.....	127
3.8. Изучение волновых процессов и возмущений в околоземном космическом пространстве.....	129
3.8.1. Новый механизм генерации азимутально-мелкомасштабных УНЧ-волн	129
3.8.2. Характеристики токовых слоев внутри областей взаимодействия быстрого и медленного солнечного ветра.....	130
3.8.3. Вычисление потока энергии волн во фланговых областях магнитосферы	131
3.8.4. Рассеяние длинных линейных поверхностных волн на стационарных течениях.....	132
3.8.5. Аналитическое и численное исследование устойчивости сферических звездных систем с почти радиальными орбитами.....	132
3.8.6. Список использованных источников.....	133
3.9. Исследование и мониторинг магнитосферно-ионосферных возмущений с использованием пространственно-разнесенных геофизических комплексов.....	134
3.9.1. Круглогодичный, круглосуточный мониторинг магнитосферно-ионосферных возмущений на сети пространственно-разнесенных геофизических комплексов ИСЗФ СО РАН.....	134
3.9.2. Результаты исследований магнитосферно-ионосферных взаимодействий по материалам экспериментальных наблюдений на обсерваториях Института...	134
3.9.2.1. Исследование режима возбуждения геомагнитных пульсаций в глобальном масштабе на начальной стадии магнитной бури 17 марта 2015 г....	134
3.9.2.2. Разработка и адаптация методов детектирования возмущений ПЭС различного типа в рамках создания системы автоматической регистрации возмущений ПЭС.....	142
3.9.2.2.1. Методика выделения отклика на солнечные вспышки.....	142
3.9.2.2.2. Метод выделения областей повышенного ПЭС.....	142
3.9.2.2.3. Методика детектирования волновых возмущений.....	144

3.9.2.2.4. Индекс W_{tec} как индикатор возмущения ионосферы.....	144
3.9.2.2.5. Развертывание станции приема сигналов низкоорбитальных спутников на полигоне ИСЗФ СО РАН в п. Торы, настройка удаленного доступа к станции и организация непрерывных наблюдений на ней.....	144
3.9.2.3. Методика расчета координат кажущегося источника кольцевых возмущений по данным карт вариаций полного электронного содержания.....	145
3.9.2.4. Исследования характеристик и структуры инфразвуковых сигналов различной природы.....	146
3.9.2.4.1. Сравнительный анализ инфразвуковых сигналов при импульсных событиях и землетрясениях.....	146
3.9.2.4.2. Регистрация эффектов нештатной ситуации на космическом корабле «Прогресс-МС04» в декабре 2016 г.....	148
3.9.2.4.3. Микропроцессорная технология и расширение возможностей регистрации инфразвуковых сигналов.....	148
3.9.2.5. Исследования вариаций параметров верхней атмосферы Земли на высотах мезосферы – нижней термосферы в средних широтах.....	150
3.9.2.6. Изучение воздействия двигательных установок (ДУ) транспортно-грузовых кораблей (ТГК) «Прогресс» на верхние слои атмосферы и ионосферу на основе измерений вариаций полного электронного содержания (ПЭС), выполненных с помощью сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).....	152
3.9.3. Список используемых источников.....	155
4. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики.....	158
4.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента.....	158
4.1.1. Разработка и создание перспективных проблемно-ориентированных телескопов и приборов.....	158
4.1.1.1. Создание Солнечного синоптического телескопа.....	158
4.1.1.2. Разработка широкоугольных электрооптических модуляторов поляризованного излучения.....	159
4.1.2. Разработка и создание методов и инструментов для исследования солнечных магнитных полей и движений плазмы.....	161
4.1.2.1. Макет спектрополяриметра для измерения вектора магнитного поля	161
4.1.2.2. Развитие методики измерения магнитных полей Солнца.....	161
4.1.3. Развитие многочастотного радиогелиографа и спектрополяриметров полного потока.....	162
4.1.4. Изучение астроклиматических характеристик и проблем улучшения качества изображений крупных солнечных телескопов.....	163
4.1.5. Разработка широкоугольной оптической системы для диагностики состояния быстро перемещающихся космических объектов.....	164
4.1.6. Список использованных источников.....	165

4.2. Фотометрические наблюдения и исследования нестационарных астрофизических объектов на телескопе АЗТ-33ИК.....	166
4.2.1. Установка нового спектрального и фотометрического оборудования на телескопе АЗТ-33ИК и результаты его применения.....	166
4.2.2. Наблюдения оптических послесвечений гамма-всплесков и фотометрический мониторинг астрофизических объектов на телескопе АЗТ-33ИК.....	167
4.2.3. Список используемых источников.....	168
4.3. Методы диагностики процессов солнечной активности и ее проявлений в ММП, магнитосфере и ионосфере Земли.....	168
4.3.1. Диагностика солнечных факторов возмущений космической погоды..	168
4.3.2. Диагностика возмущений магнитосферы и ионосферы Земли.....	169
4.3.3. Некоторые результаты по прогнозированию и диагностике возмущений магнитосферы и ионосферы Земли.....	171
4.3.4. Список использованных источников.....	172
5. Работа обсерваторий ИСЗФ СО РАН.....	172
5.1. Байкальская астрофизическая обсерватория.....	172
5.2. Саянская солнечная обсерватория.....	175
5.3. Радиоастрофизическая обсерватория.....	177
5.4. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория.....	179
5.5. Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция.....	186
5.6. Геофизическая обсерватория.....	190
5.7. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА).....	195
6. Научно-организационная деятельность.....	197
6.1. Общие сведения.....	197
6.2. Деятельность Ученого совета.....	202
6.3. Деятельность диссертационного совета.....	202
6.4. Международное сотрудничество.....	202
6.5. Издательская деятельность.....	215
6.6. Работа библиотеки.....	216
6.7. Работа с вузами.....	216
6.8. Работа научно-образовательного центра.....	217
6.9. Работа музея ИСЗФ СО РАН.....	218
6.10. Работа Совета научной молодежи Института.....	219
6.11. Проведение научных мероприятий.....	220
6.12. Участие в выставках.....	224
6.13. Участие в научных мероприятиях.....	224
7. Публикации.....	226
7.1. Статьи в отечественных журналах.....	226

7.2. Статьи в иностранных журналах, включая переводные.....	231
7.3. Доклады в сборниках российских конференций.....	237
7.4. Доклады в сборниках международных конференций.....	238
7.5. Тезисы докладов на российских конференциях.....	249
7.6. Тезисы докладов на международных конференциях.....	257
7.7. Монографии, патенты.....	278
7.8. Электронные публикации.....	278
7.9. Статьи, сданные в печать в российские издания.....	279
7.10. Статьи, сданные в печать в зарубежные издания.....	280
Содержание.....	281

Отв. редактор ***И.И. Салахутдинова***
Редакторы ***Н.О. Волкова, М.В. Никонова***
Технический редактор ***Н.В. Купрякова***

Отчет утвержден Ученым советом ИСЗФ СО РАН 2 марта 2018 г., протокол № 4.

Сдано в набор 19.12.2017 г. Подписано к печати 17.01.2018 г.
Формат 60×90 1/8. Гарнитура *Times New Roman*.
Усл. печ. л. 36,5. Уч.-изд. л. 43,8. Тираж 30. Заказ № 182.

***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***