

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



О Т Ч Е Т
**О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 2024 г.**

Иркутск, 2025

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

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

Научный руководитель Института — академик РАН Г.А. Жеребцов

Основные научные направления Института

– Физика Солнца: изучение строения и активности Солнца и 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 исследований в области астрофизики и физики Солнца.

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

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

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

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

1. СТРУКТУРА ИНСТИТУТА

Руководство Института

<i>Директор</i>	чл.-корр. РАН А.В. Медведев
<i>Научный руководитель</i>	академик РАН Г.А. Жеребцов
<i>Первый заместитель директора</i>	д.ф.-м.н. С.В. Олемской
<i>Заместители директора по научно-исследовательской ра- боте</i>	д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич к.ф.-м.н. С.В. Лесовой к.ф.-м.н. Р.В. Васильев
<i>Заместитель директора по научной работе и инновационной деятельности</i>	к.ф.-м.н. В.В. Хахинов
<i>Руководитель научного направления по физике Солнца</i>	чл.-корр. РАН В.М. Григорьев
<i>Руководитель научного направления по радиоастрофизике</i>	д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев
<i>Руководитель научного направления по радиофизике</i>	д.ф.-м.н. В.И. Куркин
<i>Зам. директора по капитальному строительству</i>	П.В. Фадеев
<i>Заместитель директора по общим вопросам</i>	В.М. Алешков
<i>Советник директора по вопросам международного сотрудничества</i>	А.С. Лапшин
<i>Ученый секретарь</i>	к.ф.-м.н. И.И. Салахутдинова

Адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 126А
Телефон: (3952) 42-82-65
Факс: (3952) 51-16-75, (3952)42-55-57
e-mail; web: uzef@iszf.irk.ru; www.iszf.irk.ru

Научные подразделения

Отдел физики атмосферы и околоземного космического пространства

Руководитель отдела — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев

- Лаборатория физики ионосферно-магнитосферного взаимодействия (зав. лаб. — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев)
- Лаборатория волновых процессов в космической плазме (зав. лаб. — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин)
- Лаборатория физики атмосферы (зав. лаб. — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий)
- Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория (КМИО) (зав. обсерваторией — И.С. Москалев)
- Геофизическая обсерватория (ГФО) (зав. обсерваторией — А.В. Татарников)

Отдел распространения радиоволн и прогнозирования состояния околоземного космического пространства

Руководитель отдела — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич

Руководитель научного направления по радиофизике — д.ф.-м.н. В.И. Куркин

- Лаборатория радиофизических методов диагностики околоземного космического пространства (зав. лаб. — к.ф.-м.н. В.П. Лебедев)
- Лаборатория исследования динамических процессов в ионосфере (включая обособленные подразделения: пункт ионосферных наблюдений «Магадан» и пункт ионосферных наблюдений «Аркти») (зав. лаб. — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт)
- Лаборатория диагностики ионосферы и распространения радиоволн (зав. лаб. — к.ф.-м.н. А.В. Ойнац)
- Лаборатория прогнозирования космической погоды и интеллектуального анализа данных (зав. лаб. — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич)
- Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА) (зав. обсерваторией — А.В. Заворин)

Отдел радиоастрофизики

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

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

- Лаборатория радиоастрофизических исследований Солнца (зав. лаб. — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов)
- Радиоастрономическая обсерватория им. профессора Г.Я. Смолькова (РАО) (зав. обсерваторией — к.т.н. А.В. Губин)

Отдел физики Солнца

Руководитель отдела — д.ф.-м.н. С.В. Олемской

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 методов исследования Солнца малыми космическими аппаратами — (зав. лаб. — д.ф.-м.н. С.В. Кузин)
- Лаборатория солнечной активности (зав. лаб. — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов)
- Лаборатория фундаментальной и прикладной астрономии (зав. лаб. — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич)
- Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО) (зав. обсерваторией — К.Е. Кириченко)
- Саянская солнечная обсерватория (ССО) (зав. обсерваторией — П.В. Машнич)

Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук

Аппарат управления

Управление

Главные специалисты

Канцелярия

Бухгалтерия

Планово-экономический отдел

Отдел кадров

Юридическая группа

Контрактная группа

Первый отдел

Группа снабжения

Административно-хозяйственная часть

Группа гражданской обороны и ЧС

Группа охраны труда и техники безопасности

Научно-вспомогательные подразделения

- Библиотека
- Группа научно-технической информации
- Группа переводчиков
- Группа по научно-исторической работе
- Редакционно-издательский отдел

Научно-образовательные подразделения

Отдел аспирантуры и магистратуры

Производственные подразделения

Отдел по защите информации и сетевому сопровождению

Отдел по капитальному строительству

Отдел строительного контроля

Конструкторский отдел:

- Оптико-механический сектор
- Сектор электронной аппаратуры

Опытное производство

Экспериментальный цех:

- Механический участок
- Участок электронной аппаратуры
- Участок по обслуживанию энергетических сетей
- Ремонтно-строительный участок

Отдел технического обслуживания

Участок транспорта

Младший обслуживающий персонал

1. Строительство и проектирование Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук

В 2024 г. Институт продолжал реализацию Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук (НГК РАН).

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 7 февраля 2023 г. N 267-р «Об утверждении перечня объектов капитального строительства, мероприятий (укрупненных инвестиционных проектов), объектов недвижимого имущества, входящего в систему документов комплексной государственной программы РФ «Строительство» (с изменениями и дополнениями)» по НГК РАН был утвержден следующий перечень объектов капитального строительства со сроками ввода в эксплуатацию:

1. Солнечный телескоп-коронограф — Республика Бурятия, Тункинский район, пос. Монды, территория Саянской солнечной обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН, 1 этап. Срок ввода — 2031 г.

2. Лидар — Иркутская область, Ольхонский район, м. Харикта, территория Байкальской обсерватории физики атмосферы и экологического мониторинга Института солнечно-земной физики СО РАН. Срок ввода — 2028 г.

3. Нагревный стенд — Иркутская область, Ангарский район, пос. Одинск, территория Обсерватории нелинейной радиофизики Института солнечно-земной физики СО РАН. Срок ввода — 2028 г.

4. Центр управления — Иркутская область, г. Иркутск, территория Института солнечно-земной физики СО РАН. Срок ввода — 2031 г.

5. Система радаров — Иркутская область, Ольхонский район, м. Харикта, территория Байкальской обсерватории физики атмосферы и экологического мониторинга Института солнечно-земной физики СО РАН, 1 этап. Срок ввода — 2031 г.

В 2024 г. и на начало 2025 г. получены документы (заключения главгосэкспертизы) по следующим объектам.

1. Лидар — Иркутская область, Ольхонский район, м. Харикта, территория Байкальской обсерватории физики атмосферы и экологического мониторинга Института солнечно-земной физики СО РАН. По результатам инженерных изысканий получено положительное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России» от 24.01.2025 № 38-1-1-1-002460-2025.

2. Нагревный стенд — Иркутская область, Ангарский район, пос. Одинск, территория Обсерватории нелинейной радиофизики Института солнечно-земной физики СО РАН. По результатам инженерных изысканий получено положительное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России» от 30.01.2025 № 38-1-1-1-003891-2025.

3. Центр управления — Иркутская область, г. Иркутск, территория Института солнечно-земной физики СО РАН. По результатам инженерных изысканий получено положительное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России» от 30.10.2024 № 38-1-1-1-063914-2024.

Согласно Постановлению Правительства Иркутской области от 18.11.2024 № 914-пп «Об утверждении государственной программы Иркутской области «Научно-технологическое развитие Иркутской области», реализация крупных научно-исследовательских проектов мирового масштаба, в число которых включен Национальный гелиогеофизический комплекс РАН, позволят обеспечить как региону, так и Российской Федерации достижение прорывных результатов, в том числе в области технологий космического приборостроения, а также проводить мониторинг состояния околоземного космического пространства. Достижению цели государственной программы способствует реализация и развитие объектов научной инфраструктуры — Национального гелиогеофизического комплекса РАН.

1.1. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Солнечный телескоп-коронаграф

Ответственный руководитель объекта — руководитель научного направления по физике Солнца, чл.-корр. РАН В.М. Григорьев, зам. ответственного руководителя объекта — заведующий лабораторией д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, ответственный исполнитель — заведующий лабораторией к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов.

Солнечный телескоп-коронаграф (СТК) — проект современного телескопа для изучения Солнца и солнечной активности. Строительство СТК начато в 2023 г. в Саянской солнечной обсерватории (ИСЗФ СО РАН).

Строительные работы выполняются ООО ОКП «Арс» (генеральный директор Карелин П.М.) под руководством отдела капитального строительства Института (руководитель отдела зам. директора по капитальному строительству Фадеев П.В.).

В 2024 г. выполнены следующие этапы строительства:

- организация стройплощадки и дорог;
- подключение электроэнергии и связи;
- размещение персонала в строительном городке;
- оборудование строительной площадки техникой;
- разработка земляных масс до проектных отметок;
- разработка логистики, организация поставки топлива, материалов и производства бетона;
- заливка фундаментов здания.

24 июля 2024 г. во время визита министра науки и высшего образования РФ Валерия Николаевича Фалькова в Иркутскую область был заложен фундамент под башню СТК (рис. 1.3.1).



Рис. 1.1.1. Закладка фундамента под башню СТК на строительной площадке в Саянской солнечной обсерватории

Проект СТК предусматривает создание телескопа с апертурой диаметром 3 м. Апертура телескопа будет расположена в верхней части башни на высоте 30 м от земли, что обеспечит получение данных высокого качества. Конструкция телескопа будет предусматривать компенсацию вращения изображения в фокальных плоскостях, что обеспечит точную работу научных инструментов в ходе экспериментов продолжительностью 1–8 ч. Оптическая система телескопа позволит проводить спектрополяриметрические наблюдения с высоким пространственным и временным разрешением одновременно в нескольких спектральных линиях (до 20 спектральных линий). Планируемый срок ввода СТК в эксплуатацию 2030 г.

2. Основные научные результаты

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

2.1.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности

2.1.1.1. Сейсмические проявления динамо-волн в вариациях солнечного дифференциального вращения

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головки. Автор результата — д.ф.-м.н. В.В. Пипин.

Получены результаты решения прямой и обратной задачи гелиосейсмологии с использованием модели солнечного динамо и наблюдений акустических колебаний конвективной зоны Солнца в 23–24-м циклах солнечной активности. По данным модели динамо солнечных 11-летних крутильных колебаний вычислены коэффициенты расщепления частот акустических волн.

С использованием смоделированных коэффициентов расщепления и реалистичного шума, показано, что можно идентифицировать сигнал динамо-волны, начиная с области тахоклина до солнечной поверхности. Анализируя наблюдательные данные о вариациях частот акустических колебаний Солнца в 23–24-м циклах, мы обнаружили похожие паттерны динамо-волн в данных наблюдений SOHO/MDI, SDO/HMI и GONG (рис. 2.1.1.1.1). Это подтверждает возможность раннего обнаружения динамо-волн нового цикла, рождающихся на высоких широтах вблизи основания конвективной зоны Солнца.

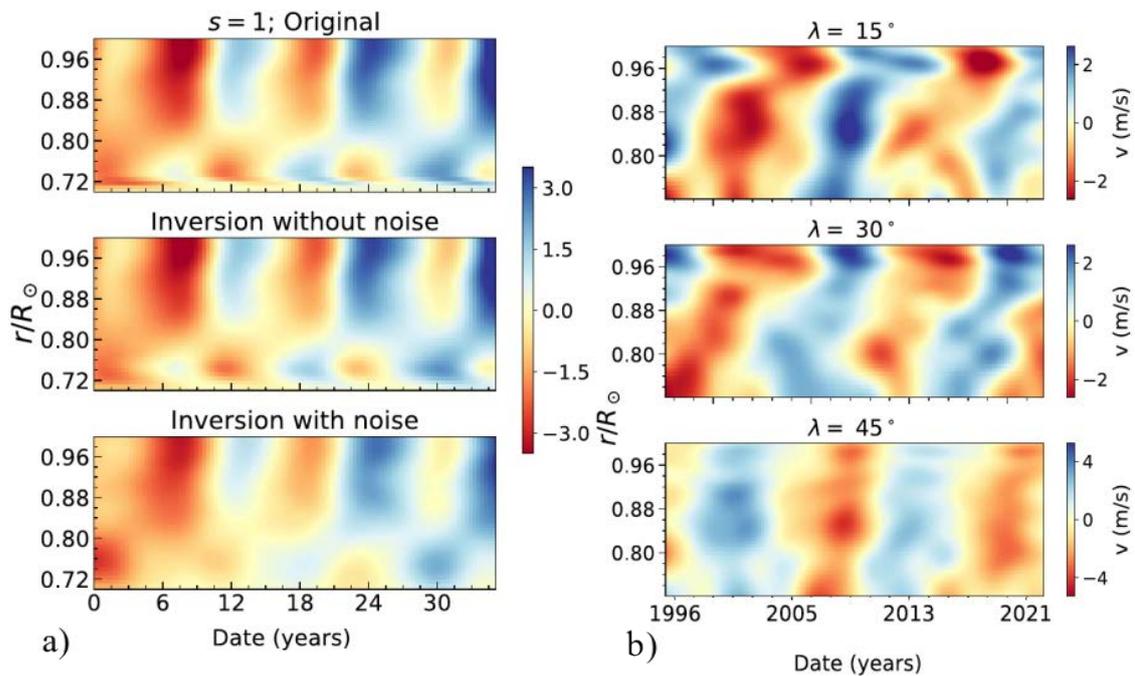


Рис. 2.1.1.1.1. Пример инверсии для первой сферической гармоники вариации коэффициентов расщепления частот акустических колебаний, порождаемых динамо волной, по данным модели динамо (a); восстановленные зональные вариации скорости вращения для широт 15° , 30° и 45° (b)

Публикация:

Mandal K., Kosovichev A.G., Pipin V.V. Helioseismic properties of dynamo waves in the variation of solar differential rotation // *Astrophys. J.* 2024. Vol. 973, iss. 1, id.36, 16 p. DOI: 10.3847/1538-4357/ad5f2c.

2.1.1.2. Бюджет тороидального магнитного потока в модели динамо солнечных циклов 23 и 24.

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головки. Автор результата — д.ф.-м.н. В.В. Пипин.

Для исследования скорости генерации тороидального потока в конвективной зоне Солнца к уравнению индукции тороидального магнитного поля в трехмерной модели паркерского динамо применялась формула Стокса и использовалась феноменологическая модель появления активных областей на поверхности Солнца в виде наклонных биполярных групп (по базе NOAA). Показано, что информации о параметрах дифференциального вращения и осесимметричного радиального магнитного поля на поверхности фотосферы недостаточно для оценки скорости генерации тороидального магнитного потока Солнца, — необходим учет радиального градиента скорости вращения вблизи дна конвективной зоны. Кроме того, показано, что оценки скорости генерации тороидального магнитного поля за счет широтного дифференциального вращения сильно зависят от профиля крупномасштабного радиального магнитного поля вблизи солнечных полюсов (рис. 2.1.1.2.1) и это влияет на качество прогноза солнечного цикла по полярному полю в минимуме.

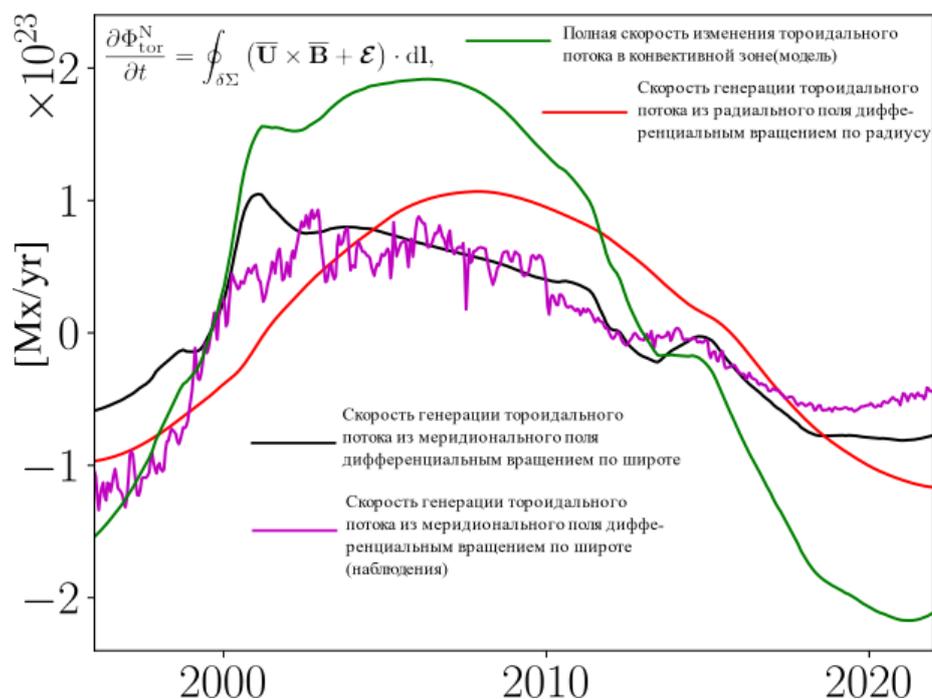


Рис. 2.1.1.2.1. Скорость изменения тороидального потока в конвективной зоне Солнца и оценки скорости генерации тороидального потока за счет дифференциального вращения по широте по данным наблюдений на поверхности и в модели динамо; скорость генерации тороидального потока в конвективной зоне за счет радиального дифференциального вращения

Публикация:

Pipin V.V., Kosovichev A.G. Toroidal magnetic flux budget in mean-field dynamo model of solar cycles 23 and 24 // *Astrophys. J.* 2024. Vol. 962, iss. 1, id. 25, 11 p. DOI: 10.3847/1538-4357/ad1590.

2.1.1.3. Модель влияния звездных пятен на циклы магнитной активности

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головки. Автор результата — Л.Л. Кичатинов.

Параметры пятнообразования играют важнейшую роль в крупномасштабном звездном динамо. Период магнитного цикла в модели сокращается с ускорением вращения из-за

уменьшения времени распространения полоидальных полей от широты их появления до широт $\pm 55^\circ$ наиболее интенсивного Ω -эффекта.

Динамо в быстро вращающихся звездах действует в далеко закритическом режиме в результате усиления α -эффекта Бэбкока — Лейтона из-за увеличения угла наклона групп пятен, что, в свою очередь, приводит к усилению магнитного поля и ослаблению связи процессов динамо в северном и южном полушариях (рис. 2.1.1.3.1). Поэтому экваториальная симметрия крупномасштабного поля изменяется от смешанной дипольно-квадрупольной к квадрупольной и затем к дипольной с уменьшением скорости вращения звезды.

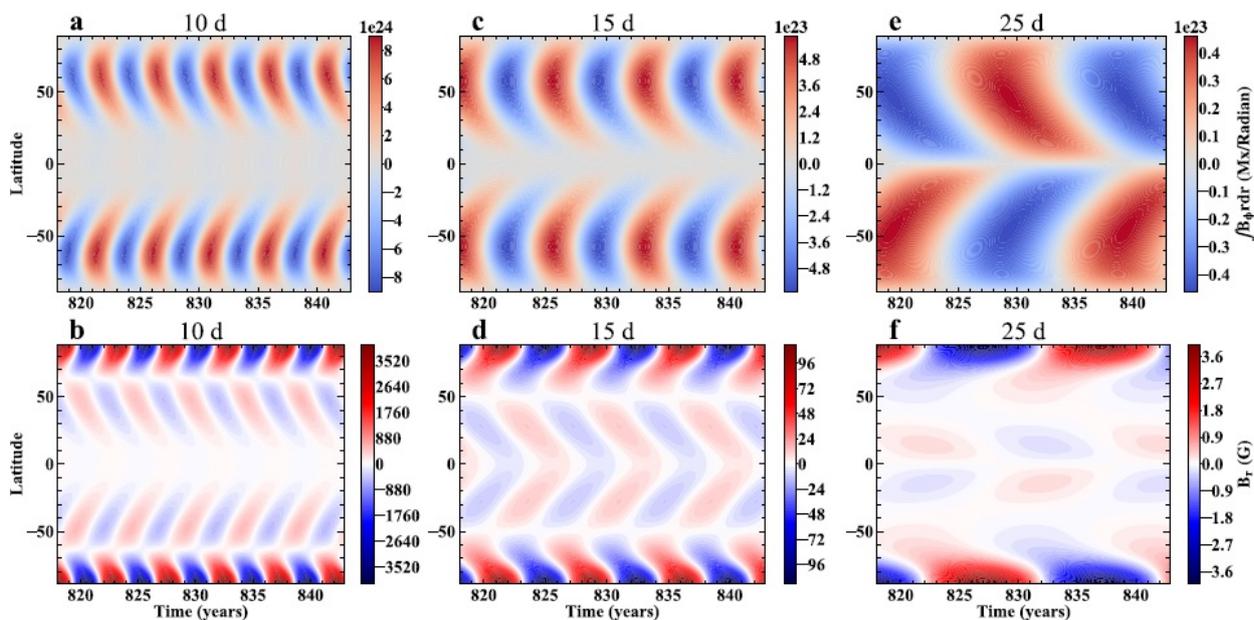


Рис. 2.1.1.3.1. Широтно-временные диаграммы тороидального магнитного потока конвективной зоны (вверху) и радиальной составляющей магнитного поля на звездной поверхности (внизу) согласно модели динамо для звезд с периодами вращения 10, 15 и 25 сут

Публикация:

Zhang Z., Jiang J., Kitchatinov L.L. Modeling the effects of starspots on stellar magnetic cycles // *Astron. Astrophys.* 2024. Vol. 686, id. A90, 11 p. DOI: 10.1051/0004-6361/202348201.

2.1.1.4. Наблюдение гелиосейсмологически активной солнечной вспышки с низким потоком жесткого рентгеновского излучения до 50 кэВ

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головкин. Автор результата — к.ф.-м.н. И.И. Мышьяков.

Рассмотрена солнечная вспышка класса M1.1, сопровождавшаяся явлением распространения гелиосейсмических волн на уровне фотосферы (sunquake). Расчет коронального магнитного поля, выполненный в нелинейном бессиловом приближении, выявил в области возникновения вспышки характерную существенно непотенциальную конфигурацию магнитных силовых линий, протянувшуюся практически параллельно линии раздела полярностей фотосферного поля, вдоль которой наблюдалось смещение рентгеновских источников.

Области, в которых были зарегистрированы гелиосейсмические волны и выбросы плазмы, соответствовали положению вспышечных лент и находились в непосредственной близости к указанной магнитной петельной структуре (рис. 2.1.1.4.1). Информация о восстановленном поле позволила оценить параметры плазмы и предложить сценарий, качественно объясняющий наблюдаемую задержку микроволнового импульса относительно импульса в жестком рентгене как следствие захвата ускоренных электронов в магнитной ловушке.

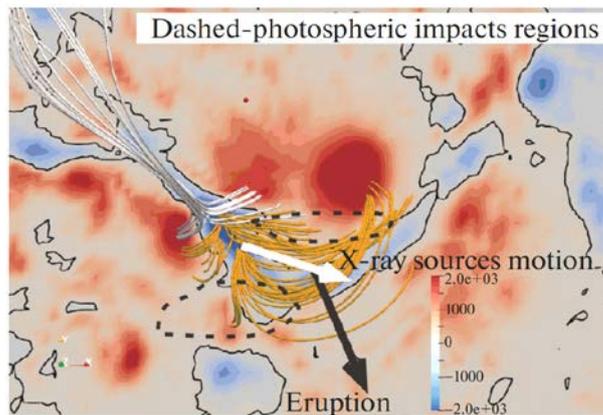


Рис. 2.1.1.4.1. Расчетные силовые линии на фоне вертикального фотосферного поля. Сплошные контуры — линия инверсии полярности, штриховые линии — области наблюдения гелиосейсмических волн

Публикация:

Sharykin I.N., Zimovets I.V., Kosovichev A.G., Myshyakov I.I. Observation of a helioseismically active solar flare with a low hard X-ray flux up to 50 keV // *Astron. Lett.* 2024. Vol. 50, no. 3, pp. 203–219. DOI: 10.1134/S1063773724700026.

2.1.1.5. Северо-южная асимметрия солнечной активности в 25-м цикле Швабе — Вольфа

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головки. Авторы результата — д.ф.-м.н. Язев С.А., к.ф.-м.н. Исаева Е.С., к.ф.-м.н. Томозов В.М., к.ф.-м.н. Иванов К.И., Хос-Эрдэнэ Б.

Выполнен анализ северно-южной асимметрии (north-south asymmetry, NSA) расположения групп солнечных пятен и вспышек на фазе роста 25-го цикла Швабе — Вольфа солнечной активности.

Активность пятен на протяжении первых четырех лет развития цикла нарастала квази-синхронно в северном и южном полушариях, модуль коэффициента NSA в этот период снижался от 0.6 до 0.2. Высокая степень симметрии активности может обеспечить большую высоту 25-го цикла по сравнению с 24-м, а также одновершинность 25-го цикла. Выдвинута гипотеза о том, что в 25-м цикле наблюдается более высокий уровень дипольной четности глобального магнитного поля по сравнению с 24-м циклом (рис. 2.1.1.5.1).

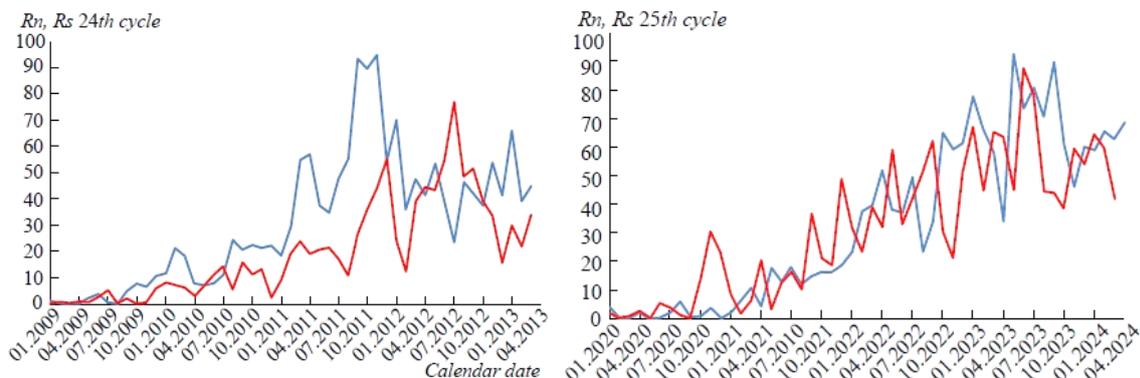


Рис. 2.1.1.5.1. Изменение индекса R в 24–25-м циклах на протяжении первых 52 месяцев от начала цикла. Синие кривые — северное полушарие, красные — южное.

Публикация:

Язев С.А., Исаева Е.С., Томозов В.М., Иванов К.И., Хос-Эрдэнэ Б. К вопросу о северо-южной асимметрии солнечной активности в 25-м цикле Швабе — Вольфа // *Астрон. журн.* 2024. Т. 101, № 12, С. 75–84.

2.1.1.6. Управляющие параметры эволюции солнечных активных областей

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головко. Автор результата — к.ф.-м.н. А.А. Головко.

Предложены два управляющих параметра, определяющие эволюцию солнечных активных областей. Общий магнитный поток F_{abs} определяет масштаб, время жизни и свойства активного образования, дисбаланс $F(t)$ магнитных потоков N- и S-полярностей в активной области является параметром, отражающим состояние эволюции активной области и степень связи ее магнитного поля с крупномасштабным магнитным полем, а также служит предиктором вспышек (рис. 2.1.1.6.1).

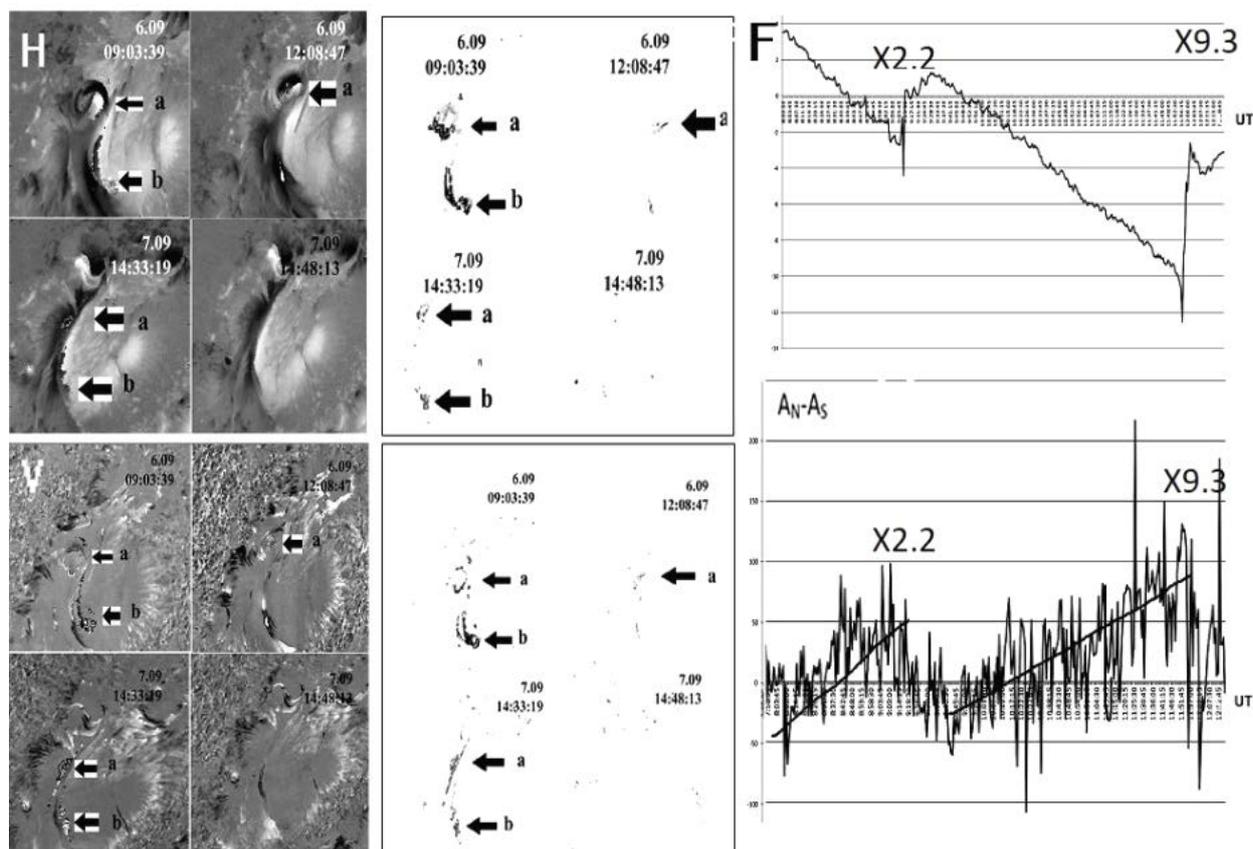


Рис. 2.1.1.6.1. Карты продольного магнитного поля и доплеровской скорости (слева); изменения дисбаланса магнитного потока F со скоростью $\sim 10^{17}$ Мкс/с (справа сверху) в пользу отрицательной полярности; структурные изменения участков сильной перемежаемости (разность площадей участков разной полярности, справа внизу), выявленных микроканоническим методом мультифрактального анализа

Публикация:

Головко А.А.. Управляющие параметры эволюции солнечных активных областей // Труды XVIII Всероссийской конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2024. С. 77–80. DOI: 10.31725/0552-5829-2024-77-80.

2.1.1.7. Магнитосферная реакция на воздействие диамагнитных структур солнечного ветра, порождаемых эруптивными протуберанцами областей

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головко. Автор результата — д.ф.-м.н. В.Г. Еселевич.

Рассмотрена последовательность явлений Солнце — Земля, что позволило изучить механизм геоэффективности возмущений, распространяющихся от Солнца и связанных с корональными выбросами массы. Эруптивный протуберанец, выброшенный в солнечный ветер, движется с его скоростью в направлении Земли в форме диамагнитной структуры эруптивного протуберанца (diamagnetic structure of eruptive prominence, DSEP). Ключевой особенностью последнего является большой скачок концентрации плазмы N внутри при одновременном резком падении модуля B ММП (рис. 2.1.1.7.1).

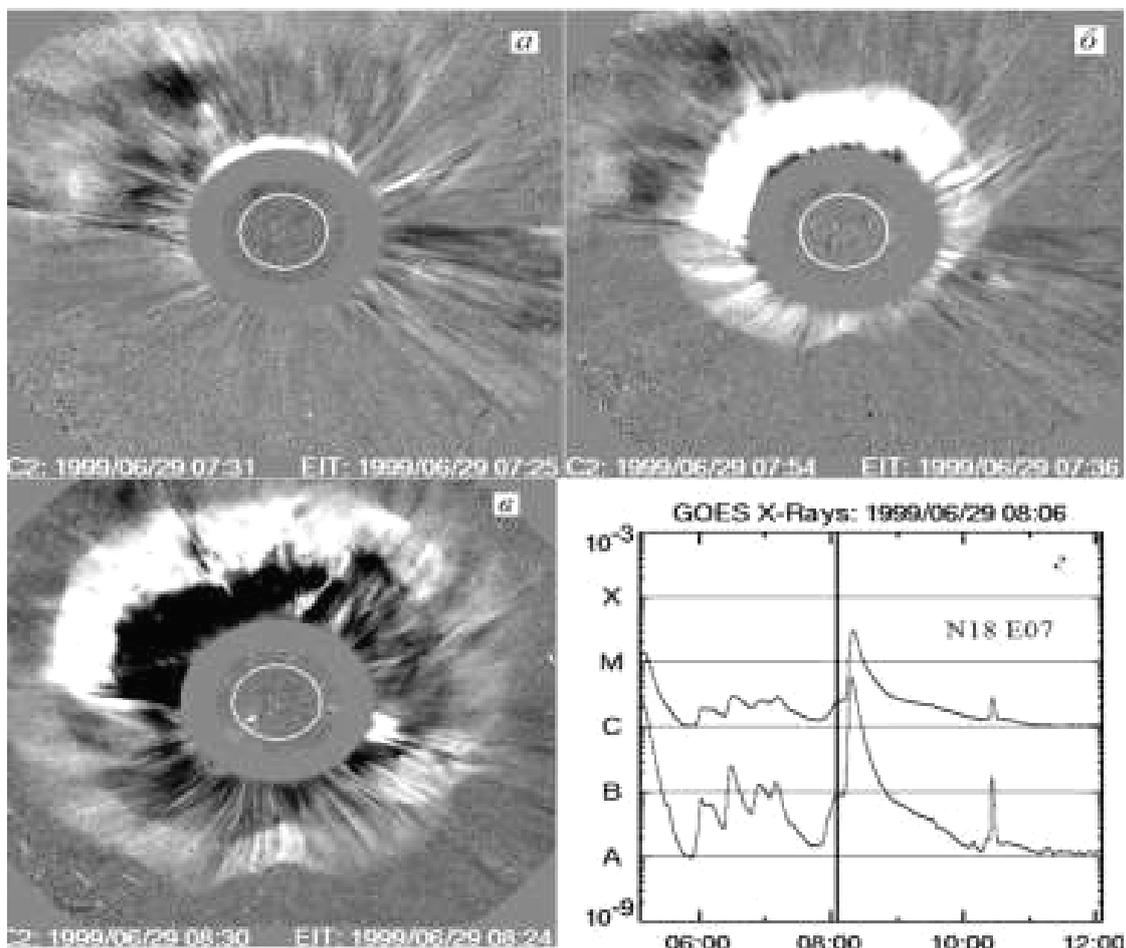


Рис. 2.1.1.7.1. Последовательность дифференциальных изображений белой короны коронографа C2/LASCO и профили вариаций рентгеновского потока со спутника GOES

Антикорреляция между профилями N и B в DSEP приводит к тому, что контакт DSEP с магнитосферой может вызвать не только ее сжатие, но и проникновение в нее вещества DSEP. Длительность магнитосферного возмущения (в форме дневных полярных сияний), глобальное увеличение токовых систем, усиление потока заряженных частиц в радиационных поясах и генерация нерегулярных колебаний Pi2-3 определяются размером DSEP. Представлены статистические исследования DSEP, наблюдавшихся в разные годы солнечной активности и качественная модель геоэффективности DSEP.

Публикация:

Parkhomov V.A., Eselevich V.G., Tsegmed B., Eselevich M.V. Magnetospheric response on impact of solar wind diamagnetic structures borne by eruptive prominence // Proc. of the Mongolian Academy of Sciences. 2024. Vol. 64, no. 02 (250). DOI: 10.5564/pmas.v64i02.3648.

2.1.2. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца

2.1.2.1. Исследование процессов ускорения и переноса электронов в солнечной вспышке 6 марта 2023 г. по наблюдениям российских и китайских инструментов

Проект «Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца». Руководители — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов, к.ф.-м.н. С.А. Анфиногентов.

Проведено детальное исследование солнечной вспышки 6 марта 2023 г. класса M5.8. Данная вспышка была одной из первых мощных вспышек, наблюдавшихся одновременно Сибирским радиогелиографом в микроволновом диапазоне и космической обсерваторией ASO-S (Китай) в рентгеновском диапазоне; использовались также данные других инструментов. Вспышка состояла из двух отдельных эпизодов с различными соотношениями тепловых и нетепловых частиц и сопровождалась эрупцией филамента. На первом этапе вспышки микроволновое излучение генерировалось в аркаде относительно низких и коротких вспышечных петель. На втором этапе вспышки микроволновое излучение генерировалось ускоренными электронами, захваченными вблизи вершины крупномасштабной вспышечной петли; эволюция захваченных частиц определялась главным образом кулоновскими столкновениями. На основе наблюдений в различных спектральных диапазонах, с помощью системы GX Simulator была построена трехмерная модель вспышки, которая позволила оценить параметры ускоренных электронов.

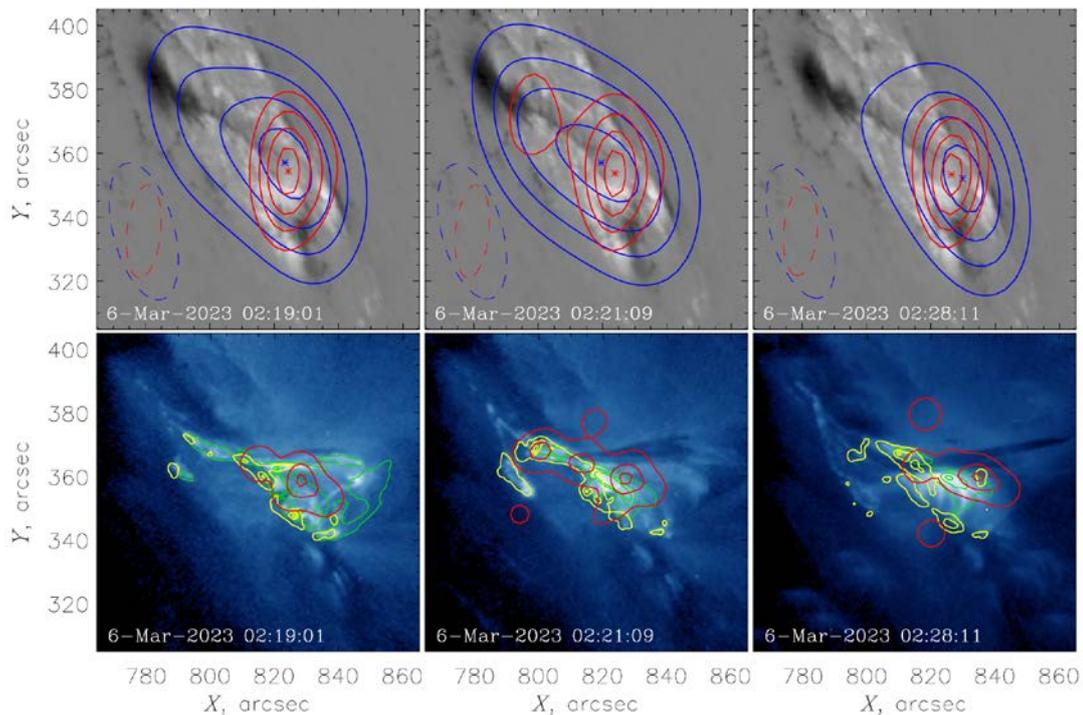


Рис. 2.1.2.1.1. Изображения вспышки 6 марта 2023 г. в различные моменты времени. Верхний ряд: фон — фотосферная магнитограмма SDO; синие и красные сплошные контуры — микроволновые наблюдения Сибирского радиогелиографа на частотах 5.60 и 11.80 ГГц; штриховые — диаграммы направленности инструмента на уровне 1/2. Нижний ряд: фон — УФ-изображение SDO на длине волны 335 Å, зеленые и желтые контуры — УФ-наблюдения SDO на длинах волн 131 и 1600 Å, красные контуры — рентгеновские наблюдения ASO-S в интервале энергий 20–40 кэВ

Публикация:

Kuznetsov A., Wu Z., Anfinogentov S., Su Y., Chen Y. Electron acceleration and transport in the 2023-03-06 solar flare // *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*. 2024. Vol. 11, 1407955. DOI: 10.3389/fspas.2024.1407955.

2.1.2.2. Идентификация типа трехминутных колебаний в солнечных пятнах и их окрестностях

Проект «Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца». Руководители — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.А. Челпанов, д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов.

В солнечной фотосфере и хромосфере, в тени солнечных пятен и их ближайших окрестностях часто наблюдаются колебания интенсивности и доплеровской скорости с 3-минутным периодом. Регистрация этих сигналов в полутени пятен отдельными исследователями интерпретируется как проявление так называемых *alfvenic waves*. Авторами было проведено детальное исследование четырех солнечных пятен, три из которых наблюдались SDO/HMI в спектральной линии Fe I 6173 Å, и одно — на Автоматизированном солнечном телескопе Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН в спектральной линии Si I 10827 Å. Обнаружено, что для бегущих волн разность фаз между 3-минутными колебаниями в интенсивности излучения и лучевой скорости близка к 180°, что свидетельствует о преобладании магнитозвуковых волн; именно они, в частности, ответственны за формирование колебаний в лучевой скорости в полутени и суперполутени (ближайших окрестностях) пятен. В то же время наблюдения колебаний в магнитном поле (на SDO) могут указывать на возможное наличие в фотосфере альфвеновских волн.

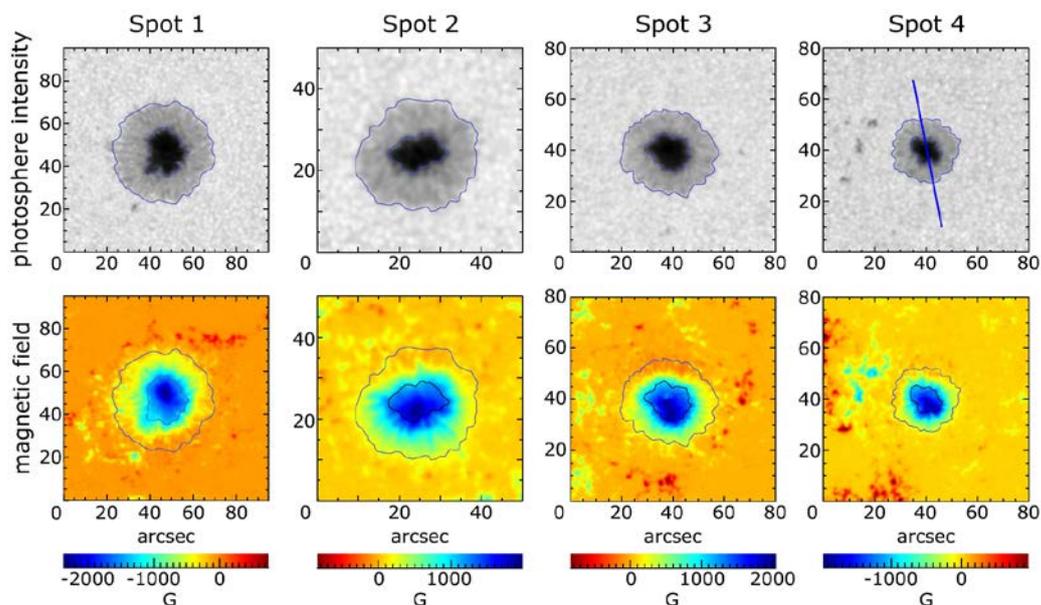


Рис. 2.1.2.2.1. Изображения солнечных пятен, использованные в исследовании: верхний ряд — изображения в белом свете, полученные SDO/HMI (пятна 1–3) и АСТ ССО ИСЗФ СО РАН (пятно 4); нижний ряд — фотосферные магнитограммы (по данным SDO)

Публикация:

Chelpanov A., Kobanov N. Three-minute oscillations in sunspot's penumbrae and superpenumbrae. *Alfvenic or sound?* // *Solar Phys.* 2024. Vol. 299, 139. DOI: 10.1007/s11207-024-02371-2.

2.1.2.3. Пространственная структура резонансных полостей в солнечной короне

Проект «Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца». Руководители — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов и д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов. Автор результата — к.ф.-м.н. Р.А. Сыч.

Проведено исследование волновых процессов в солнечных пятнах в активных областях AR 11131 (10 декабря 2010 г.) и AR 12565 (14 июля 2016 г.), наблюдавшихся

SDO/AIA в спектральных линиях 1600, 304 и 171 Å. Для анализа пространственной структуры колебаний были использованы методы попиксельной вейвлет-фильтрации и декомпозиции мод. В результате впервые были обнаружены стабильные области — волноводы колебаний в тени пятна, занимающие определенные диапазоны частот без пространственного пересечения. Размеры этих областей зависели от частоты колебаний. Наблюдались также частотные дрейфы колебаний, обусловленные положением источников в тени пятна. Сделан вывод, что наблюдаемые особенности колебаний отражают набор резонансных полостей, где происходит эффективное усиление колебаний на определенных частотах и их гармониках; на пространственное распределение колебаний также оказывает влияние эффект отсечки на низких частотах в магнитных волноводах.

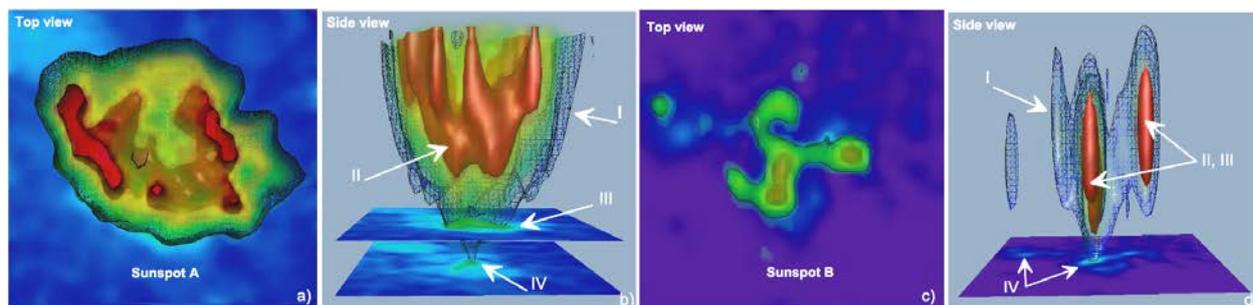


Рис. 2.1.2.3.1. Трехмерная пространственная локализация источников колебаний в тени солнечных пятен (вид сверху и со стороны): *a, b* — для пятна в AR 11131; *c, d* — для пятна в AR 12565. Колебания с периодом от 0.5 до 5 мин наблюдались в спектральной линии 304 Å. Стрелками показаны резонансные полости

Публикация:

Sych R., Zhu X., Chen Y., Yan F. Spatial structure of resonance cavities in sunspots // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2024. Vol. 529, iss. 2. P. 967–978. DOI: 10.1093/mnras/stae575.

2.1.3. Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства

2.1.3.1. Фотометрические наблюдения и моделирование формы космического мусора на средневисотных орбитах

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата — И.В. Коробцев, М.Н. Мишина, Ю.С. Караваев, к.ф.-м.н. М.В. Еселевич, В.Е. Горяшин.

Представлены результаты фотометрических наблюдений объектов космического мусора, находящихся в окрестности рабочих орбит глобальных навигационных спутниковых систем. Данные получены на 1.6-метровом телескопе АЗТ-33ИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН. Получены кривые блеска, определены периоды собственного вращения, фазовые зависимости и сделаны оценки размеров для 18 объектов. Выполнено моделирование возможной формы и режима собственного вращения для нескольких объектов с характерной кривой блеска. На рис. 2.1.3.1.1 приведен результат сравнения моделируемой и наблюдаемой кривых блеска одного из объектов. Показано, что наблюдаемые кривые блеска могут быть результатом сложного нестационарного вращения объектов простой формы. Комбинация фотометрических наблюдений и результатов моделирования позволила получить новую информацию о форме, размерах и режиме собственного вращения этих объектов.

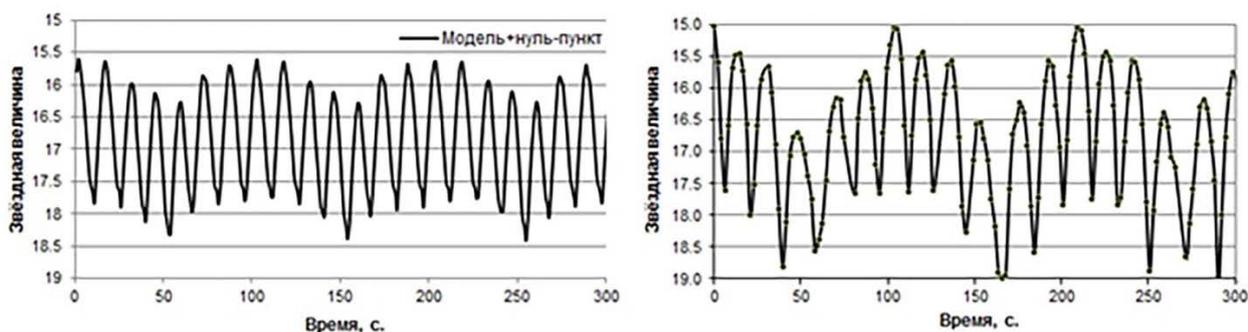


Рис. 2.1.3.1.1. Моделируемая (слева) и наблюдаемая кривые блеска объекта № 67513

Публикация:

Коробцев И.В., Мишина М.Н., Караваев Ю.С., Еселевич М.В., Горяшин В.Е. Фотометрические наблюдения и моделирование формы космического мусора на средневысотных орбитах // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, вып. 1. С. 74–82. DOI: 10.12737/szf-101202410.

2.1.3.2. Взаимодействие аккреции и околозвездной экстинкции как причина необычной переменности WTTS-звезды V715 Per

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.П. Гринин¹, к.ф.-м.н. И.С. Потрапов^{2,3}, к.ф.-м.н. М.В. Еселевич³, к.ф.-м.н. Н.В. Ефимова¹, к.ф.-м.н. О.Ю. Барсунова¹, к.ф.-м.н. С.Ю. Шугаров^{4,5}, Г.А. Борман⁶.

¹ГАО РАН; ²ИНАСАН; ³ИСЗФ СО РАН; ⁴ГАИШ МГУ; ⁵Astronomical Institute SAS; ⁶КрАО РАН

Представлены новые результаты фотометрического и спектрального мониторинга WTTS-звезды V715 Per в молодом скоплении IC 348, демонстрирующей комплексный характер переменности. На рис. 2.1.3.2.1 видно, что переменность потока в эмиссионной линии H α модулирована с периодом осевого вращения звезды и находится в противофазе с изменениями блеска. Это служит подтверждением ранее предложенной модели фотометрической переменности V715 Per, основанной на переменной околозвездной экстинкции во внутреннем диске на радиусе коротации.

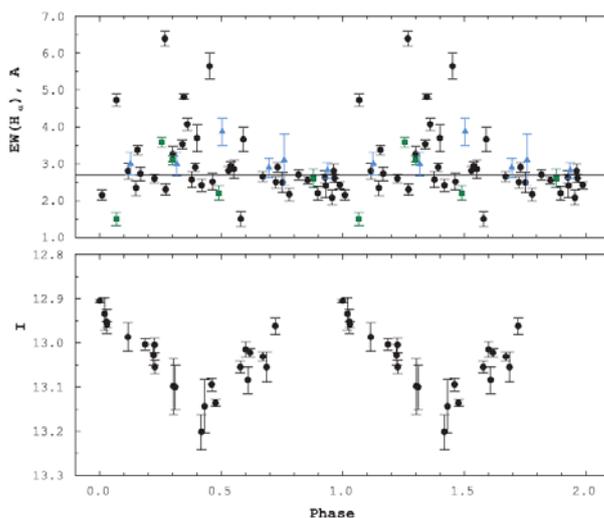


Рис. 2.1.3.2.1. Фазовые кривые переменности эквивалентной ширины линии H α (сверху) и блеска в полосе I (снизу) звезды V715 Per, свернутые с периодом вращения $P = 5.22^d$

Публикация:

Гринин В.П., Потравнов И.С., Еселевич М.В., Ефимова Н.В., Барсунова О.Ю., Шугаров С.Ю., Борман Г.А. Взаимодействие аккреции и околозвездной экстинкции как причина необычной переменности WTTS-звезды V715 Per // Письма в Астрономический журнал. 2024. Т. 50, № 10, С. 642-652. DOI: 10.31857/S0320010824100037.

2.1.3.3. Оптический мониторинг GRB201015A

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель – к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата — С. Белкин^{1,2,3}, к.ф.-м.н. А.С. Позаненко^{1,2,4}, П.Ю. Минаев^{2,5}, Н.С. Панков^{1,2}, А.А. Вольнова², А. Rossi⁶, G. Stratta^{6,7,8}, S. Benetti⁹, E. Palazzi⁶, к.ф.-м.н. А.С. Москвитин¹⁰, О. Burhonov¹¹, В.В. Румянцев¹², Е.В. Клунко¹³, Р.Уа. Inasaridze¹⁴, И.В. Рева¹⁵, к.ф.-м.н. В. Ким^{15,16}, M. Jelinek¹⁷, D.A. Kann¹⁸, д.ф.-м.н. А.Е. Вольвач¹², Л.Н. Вольвач¹², D. Xu¹⁹, Z. Zhu¹⁹, S. Fu¹⁹, А.А. Мкртчян⁴.

¹НИУ ВШЭ, ²ИКИ РАН, ³School of Physics and Astronomy — Monash University, ⁴МФТИ, ⁵ФИАН, ⁶INAF, ⁷ITP, ⁸IAPS – INAF, ⁹INAF – OAPd, ¹⁰САО РАН, ¹¹UBAI, ¹²КрАО РАН, ¹³ИСЗФ СО РАН, ¹⁴GNAO, ¹⁵АФИФ, ¹⁶ГАО РАН, ¹⁷IAA-CSIC, ¹⁸IAA-CSIC, ¹⁹CAS Key Laboratory of Space Astronomy and Technology NAOC.

Приводятся результаты оптического мониторинга послесвечения космического гамма-всплеска GRB 201015A в течение нескольких месяцев от начала события в составе обширной международной коллаборации. Фотометрические данные 1.6-метрового телескопа АЗТ-33ИК в полосе R были использованы для построения кривой блеска послесвечения совместно с данными других телескопов, что позволило обнаружить признаки сверхновой SN 201015A и определить важнейшие параметры, которые в дальнейшем были подтверждены спектроскопическими наблюдениями. На рис. 2.1.3.3.1 показана полная многоволновая кривая блеска этого события.

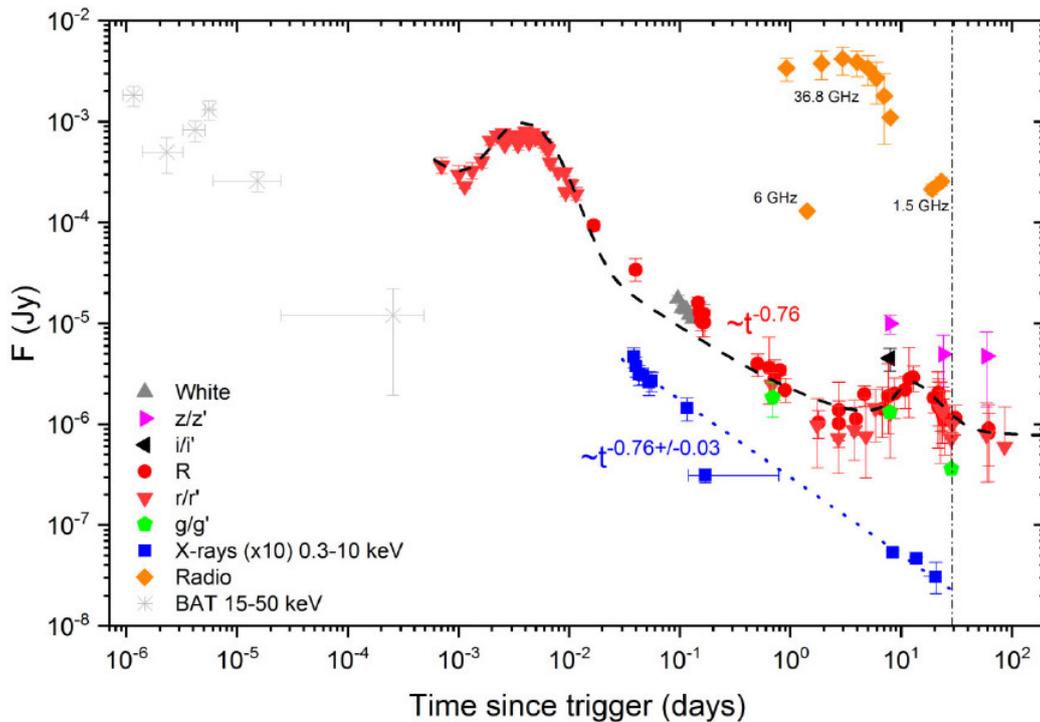


Рис. 2.1.3.3.1. Полная многоволновая кривая блеска GRB 201015A: синяя пунктирная линия — аппроксимация данных Swift-XRT; черная штриховая линия — совместная аппроксимация измерений на стадии раннего послесвечения, позднего послесвечения SN и родительской галактики; вертикальная штрихпунктирная линия указывает эпоху, когда был получен спектр

Публикация:

Belkin S., Pozanenko A.S., Minaev P.Y., Pankov N.S., Volnova A.A., Rossi A., Stratta G., Benetti S., Palazzi E., Moskvitin A.S., Burhonov O., Rumyantsev V.V., Klunko E.V., Inasaridze R.Y., Reva I.V., Kim V., Jelinek M., Kann D.A., Volvach A.E., Volvach L.N., Xu D., Zhu Z., Fu S., Mkrtchyan A.A. GRB 201015A: from seconds to months of optical monitoring and supernova discovery // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2024. Vol. 527, iss. 4. P. 11507–11520. DOI: 10.1093/mnras/stad3989.

2.1.4. Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей

2.1.4.1. Диагностика гелиосферы, магнитосферы и атмосферы по эффектам в космических лучах в периоды отдельных форбуш-эффектов

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — И.И. Ковалев, к.ф.-м.н. М.В. Кравцова, д.ф.-м.н. С.В. Олемской, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

В результате проведенных исследований получены данные об ориентации межпланетного магнитного поля (ММП) во время форбуш-эффектов и геомагнитных возмущений в августе 2005 и 2018, а также марте 2023 г., согласующиеся с данными прямых измерений на космических аппаратах.

Установлено, что в период форбуш-эффекта 15 марта 2023 г. наблюдалась петлеобразная конфигурация ММП, а в период форбуш-эффекта 23–24 марта 2023 г. — конфигурация типа сферомака с замкнутыми силовыми линиями.

Рассчитаны дифференциальные спектры вариаций первичных космических лучей (КЛ) на разных этапах развития магнитной бури в августе 2005 и 2018, а также марте 2023 г.

Установлено, что спектры вариаций интенсивности КЛ на разных этапах развития форбуш-эффекта не являются степенными в диапазоне жесткостей 2–10 ГВ.

Для геомагнитных возмущений в августе 2005 и 2018, а также марте 2023 г. получен временной ход изменения жесткости геомагнитного обрезания (ЖГО) в Иркутске, удовлетворительно коррелирующий с поведением *Dst*-индекса геомагнитной активности.

На основе осесимметричной модели ограниченной магнитосферы для геомагнитных возмущений в августе 2005 и 2018 г. рассчитаны параметры токовых систем, зависимости изменения пороговой жесткости от времени и его вклада в жесткость геомагнитного обрезания от параметров кольцевого тока.

Проведена оценка вклада кольцевого тока и токов на магнитопаузе в величину *Dst*.

Установлено, что основной вклад в интенсивность геомагнитной бури вносит симметричная составляющая кольцевого тока и токов на магнитопаузе.

Показана возможность использования данных измерений мюонных телескопов без введения поправок на температурный эффект для решения задач солнечно-земной физики.

Рассчитан временной ход среднемассовой температуры в пунктах размещения мюонных телескопов.

Публикации:

Starodubtsev S., Kovalev I., Gololobov P., Grigoryev V., Kravtsova M., Krymsky G., Olemskoy S., Sdobnov V. Investigating the heliosphere, magnetosphere, atmosphere, and properties of cosmic rays during the 2018 Aug 25–26 strong geomagnetic storm // Adv. in Space Res. 2024. Vol. 73. P. 4363–4377. DOI: 10.1016/j.asr.2024.01.027.

Ковалев И.И., Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е., Стародубцев С.А. Мониторинг околоземного космического пространства, магнитосферы и атмосферы Земли в

периоды форбуш-эффектов в конце августа 2005 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 29–37. DOI: 10.12737/szf-102202403.

Kovalev I.I., Kravtsova M.V., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Variation spectra and anisotropy of cosmic rays during Forbush effects in March 2023 // Cosmic Res. 2024. Vol. 62, no. 6. P. 533–539. DOI: 10.1134/S001095252460032X.

2.1.4.2. Спектры и анизотропия космических лучей в период GLE64

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — И.И. Ковалев, к.ф.-м.н. М.В. Кравцова, д.ф.-м.н. С.В. Олемской, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

По данным наземных и спутниковых наблюдений интенсивности КЛ на мировой сети станций с 5-минутным временным разрешением методом спектрографической глобальной съемки исследованы вариации жесткостного спектра и анизотропия КЛ в период наземного возрастания интенсивности КЛ 24 августа 2002 г. (GLE64). Определены жесткостные дифференциальные спектры КЛ в отдельные периоды исследуемого события. Показано, что максимальная жесткость ускоренных протонов в этом событии не превышала ~ 2.0 ГВ. Повышенный поток протонов с жесткостью ~ 2 ГВ во время GLE64 наблюдался из направления $\psi \sim 60^\circ$ (долгота), $\lambda \sim 0^\circ$ (широта) в солнечно-эклиптической геоцентрической системе координат.

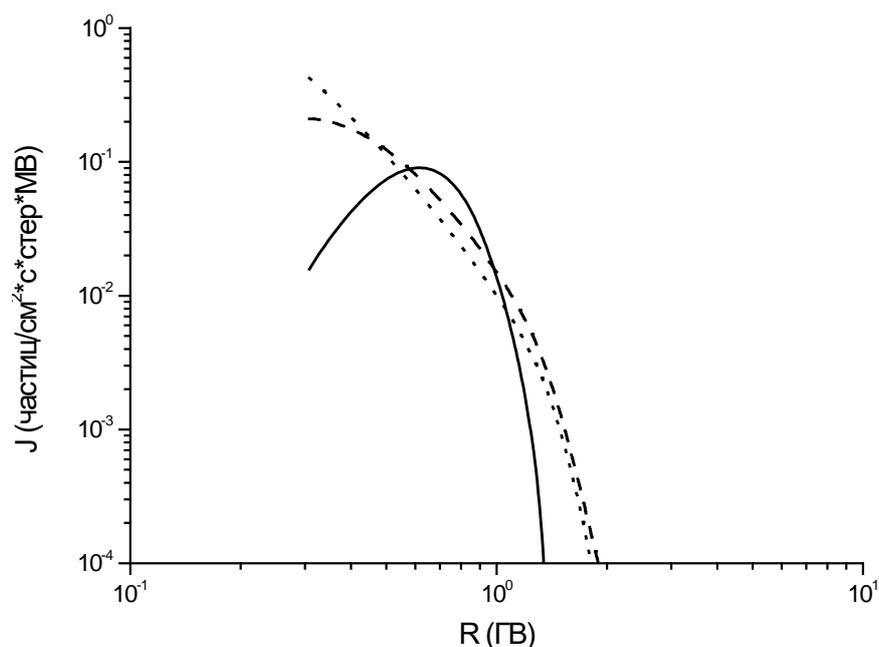


Рис. 2.1.4.2.1. Дифференциальные жесткостные спектры ускоренных на Солнце частиц в отдельные моменты GLE64 24 августа 2002 г.: в 01:30 UT (сплошная линия), в 02:00 UT (штриховая линия), в 02:50 UT (пунктирная линия).

Публикация:

Kovalev I.I., Kravtsova M.V., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Spectra and anisotropy of cosmic rays during GLE64 // Geomagnetism and Aeronomy. 2024. Vol. 64, no. 1. P. 44–48. DOI: 10.1134/S001679322360089.3.

2.1.4.3. Явления гистерезиса в отклике геомагнитной активности и параметров космических лучей на вариации межпланетной среды во время магнитной бури

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.А. Данилова¹, к.ф.-м.н. Н.Г. Птицына¹, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов².

¹Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Санкт-Петербург;

²Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН, Иркутск, Россия

Для исследования магнитной бури 7–8 сентября 2017 г. были рассчитаны двумя способами ЖГО/геомагнитные пороги. Первый способ — расчет вертикальных эффективных ЖГО $R_{\text{эф}}$ путем численного интегрирования траекторий заряженных частиц в модельном магнитном поле Земли (модель магнитосферного магнитного поля Цыганенко Ts01). Во втором способе определения вариаций геомагнитных порогов $\Delta R_{\text{ггс}}$ по данным наблюдений интенсивности КЛ на мировой сети станций использован метод СГС.

Во время бури 7–8 сентября 2017 г. мы обнаружили и исследовали явление гистерезиса в парных рядах: (1) в зависимостях Dst от параметров солнечного ветра (СВ) и ММП; (2) в зависимостях изменений пороговых ЖГО (ΔR) от параметров СВ и ММП. Анализ показал, что во время бури 7–8 сентября 2017 г. при циклическом изменении параметров СВ и ММП наблюдаются явления гистерезиса во взаимосвязи этих параметров как с Dst , так и с ΔR .

В результате исследования впервые получено, что траектории изменения значений Dst в зависимости от ММП и электрического поля (B , B_z , E_y) на главной фазе бури отличаются от траектории на восстановительной фазе — формируется четкая петля гистерезиса. Гистерезисные петли образуются также для геомагнитных порогов $\Delta R_{\text{эф}}$ и $\Delta R_{\text{ггс}}$, рассчитанных двумя независимыми методами. Специфической чертой исследуемой бури является второе понижение Dst на восстановительной фазе. Гистерезис в зависимости наблюдаемых значений $\Delta R_{\text{ггс}}$ от параметров магнитосферы лучше отражает эту специфическую динамику бури. Кривые $\Delta R_{\text{ггс}}$ (B , B_z , E_y , β) образуют две четкие петли гистерезиса как реакцию на два понижения Dst .

Гистерезис можно объяснить различием во временах насыщения кольцевого тока и его распада. В этом случае накопление энергии при развитии кольцевого тока на главной фазе бури и ее высвобождение на восстановительной фазе происходят несимметрично с формированием петель гистерезиса.

Публикация:

Данилова О.А., Птицына Н.Г., Сдобнов В.Е. Явления гистерезиса в отклике геомагнитной активности и параметров космических лучей на вариации межпланетной среды во время магнитной бури // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 3. С. 70–78. DOI: 10.12737/szf-103202408.

2.1.4.4. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов, А.Д. Судникович.

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

Данные наблюдений КЛ и атмосферного давления с минутным и часовым интервалами накоплений представляются онлайн на сайте 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). На станции космических лучей, расположенной на высоте 3000 м, совместно с Полярным геофизическим институтом (Апатиты, Россия) проводится мониторинг гамма-излучения в энергетическом диапазоне 20–400 кэВ.

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

Публикации:

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

URL: <http://www.nmdb.eu>

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

2.2. Исследования в области физики околоземного космического пространства

2.2.1. Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн

2.2.1.1. Сверхзвуковые волны и ионосферная дыра нехимического происхождения, вызванные полетом и взрывом сверхтяжелого космического корабля Starship

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич¹, А.М. Веснин¹, Э.И. Астафьева², Б.М. Малецкий², к.ф.-м.н. В.П. Лебедев¹, к.ф.-м.н. А.М. Падохин¹

¹ИСЗФ СО РАН, ²Paris Institute of Planetary Physics (IPGP)/, Франция

Проведено исследование пространственно-временных возмущений полного электронного содержания (ПЭС), вызванных полетом и взрывом космического корабля Starship 18 ноября 2023 г. Для анализа использовались данные наземных приемников ГНСС. Возмущение имело форму V-образного фронта, причем угол конуса фронта соответствовал углу Маха ударных волн, распространяющихся на высотах 100–150 км. В отличие от предыдущих наблюдений, которые в основном показывали распространение ионосферных возмущений к экватору от траектории ракеты, выявлено отчетливое распространение V-образного возмущения к северу от траектории. Помимо волновых возмущений, анализ выявил значительное снижение ПЭС на ~10–15 TECU, в течение 30–40 мин (рис. 2.2.1.1.1). Отрицательное возмущение ПЭС с большой амплитудой в основном вызвано ударными волнами, генерированными взрывом Starship в нижних слоях атмосферы. Возможно, данный случай является первым обнаружением отрицательного ионосферного возмущения нехимической природы, порожденного взрывом космического корабля.

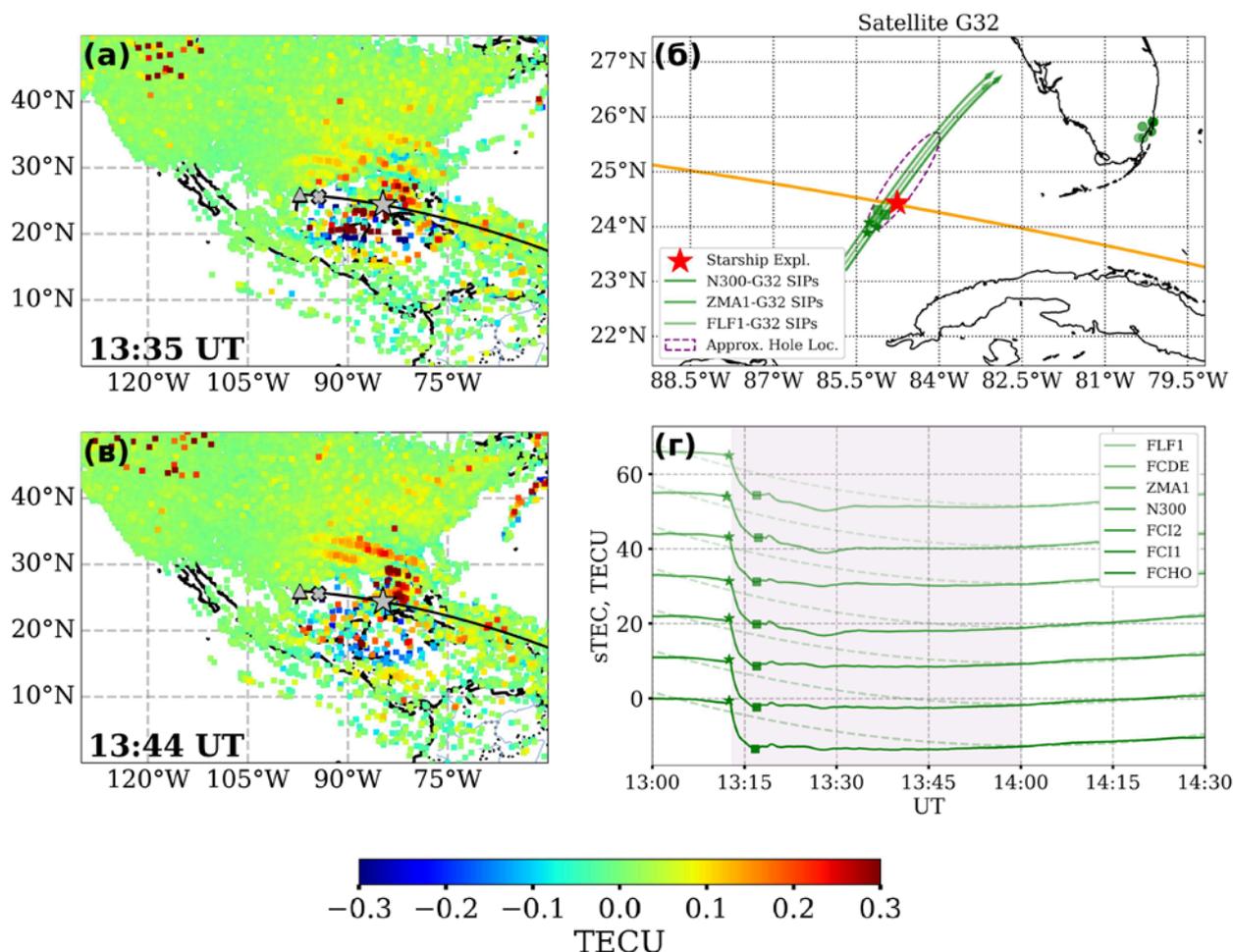


Рис. 2.2.1.1.1. Ионосферные возмущения во время пролета и взрыва космического корабля Starship 18 ноября 2023 г. в 13:35 и 13:44 UT (левые панели); положения станций ГНСС, их траектории для спутников G32 и вариации наклонного ПЭС. Пунктирный овал — пространственное положение области понижения ПЭС, звездочки — место взрыва Starship; серая область отмечает снижение ПЭС

Публикация:

Yasyukevich Y.V., Vesnin A.M., Astafyeva E., Maletskii B.M., Lebedev V.P., Padokhin A.M. Supersonic waves generated by the 18 November 2023 Starship flight and explosions: Unexpected northward propagation and a man-made non-chemical depletion // *Geophys. Res. Lett.* 2024. Vol. 51, e2024GL109284. DOI: 10.1029/2024GL109284.

2.2.1.2. Исследование интенсивности 27-дневной компоненты в солнечном излучении и ионосферном электронном содержании

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — А.Г. Сетов, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. Л.К. Кашапова.

Проведен анализ интенсивности 27-дневной компоненты во временных рядах солнечного излучения и ионосферного электронного содержания с использованием данных потока солнечного радиоизлучения в диапазоне 245–17000 МГц, крайнего УФ-излучения Солнца в диапазоне 5.5–194.5 нм и карт полного электронного содержания в ионосфере (TEC). Показано, что в радиодиапазоне 27-дневные вариации наиболее выражены в потоке на частоте

1000 МГц (рис. 2.2.1.2.1), который в последнее время стал использоваться в качестве индекса солнечной активности $F30$. В данных УФ-излучения 27-дневные вариации выражены во всем диапазоне 5.5–194.5 нм, немного ослабляясь в длинноволновой части. Показано, что в минимуме солнечной активности вариации нормированной мощности 27-дневной компоненты минимальны, в остальные фазы цикла происходят эпизодические усиления. Географическое распределение нормированной мощности 27-дневных вариаций по картам ТЕС подобно картам распределения коэффициента зимней аномалии с максимумом на средних широтах Северной Америки. Корреляционный анализ рассмотренных данных показал, что индекс $F30$, а также временной ход его 27-дневных вариаций лучше коррелируют с УФ-излучением и электронным содержанием по сравнению с другими частотам радиодиапазона, в том числе с индексом $F10.7$.

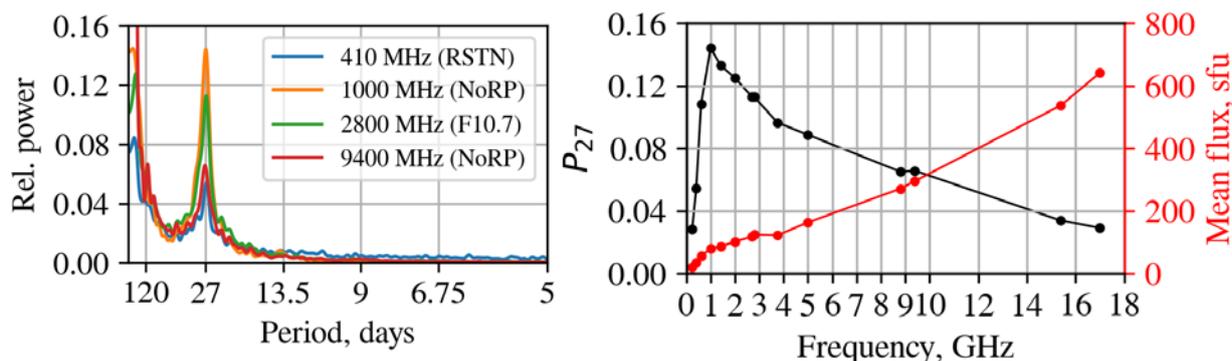


Рис. 2.2.1.2.1. Средние спектры Ломба — Скаргла для солнечного радиоизлучения (слева); справа — частотные зависимости нормированной мощности 27-дневной компоненты (черная кривая) и среднего значения потока (красная)

Публикация:

Setov A., Ratovsky K., Kashapova L. Intensity of 27-day variations in solar emission and ionospheric electron content // *Adv. Space Res.* 2024. DOI: 10.1016/j.asr.2024.10.054.

2.2.1.3. Модификация и параллелизация исходного кода полуэмпирической модели ионосферы IRI-2016

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — В.А. Ивонин, к.ф.-м.н. В.П. Лебедев, д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.

Проведена параллелизация и модификация исходного кода полуэмпирической модели ионосферы IRI-2016. Поскольку исходный код данной модели написан на языке программирования Fortran-77 старого стандарта, невозможно выполнять многопоточные вычисления с ее использованием в том виде, в котором этот код предоставляют его разработчики. В связи с этим с помощью директив OpenMP данный код был модифицирован таким образом, чтобы он мог корректно выполняться в многопоточном режиме. На рис. 2.2.1.3.1 продемонстрирован восьмикратный прирост производительности благодаря описанной модификации (компьютер с центральным процессором Intel Core i9-9900k, 8 ядер и 16 потоков, максимальная тактовая частота 5 ГГц). В процессе тестирования корректности имплементированных модификаций была обнаружена критическая ошибка в исходном коде модели при моделировании концентраций ионов на высотах, не превышающих 300 км над средним уровнем моря, из-за которой при попытке моделирования профиля модель возвращала ошибку. Ошибка устранена, и в исходный код последней версии модели (IRI-2020) разработчики внесли предложенное исправление и там же обозначили его автора (В.А. Ивонин).

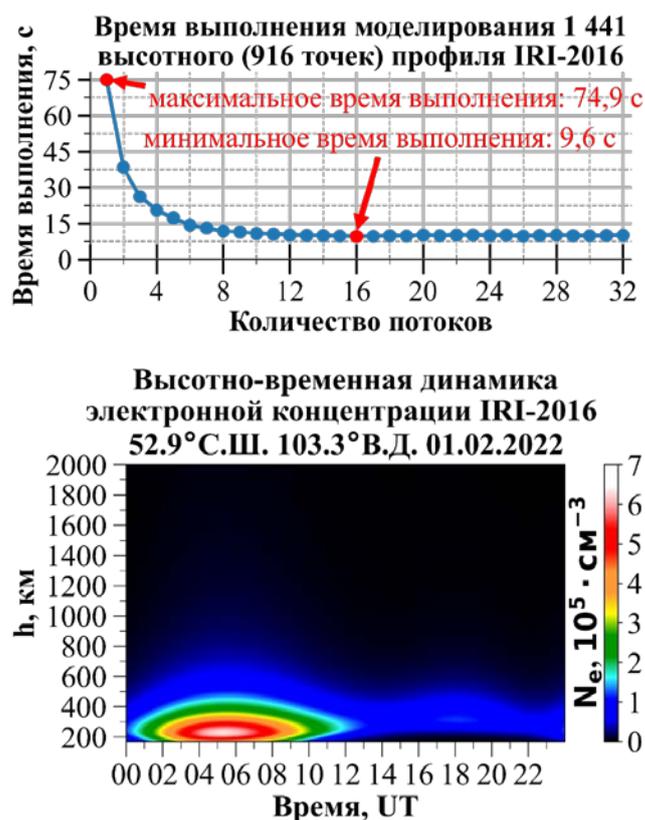


Рис. 2.2.1.3.1. Демонстрация прироста производительности IRI-2016 с использованием многопоточности (сверху) и результат моделирования (снизу)

Публикация:

Ivonin V.A., Lebedev V.P., Yasyukevich Y.V. Modification of IRI-2016 source code: improvements, parallelization // 2024 4th URSI Atlantic Radio Science Meeting (AT-RASC). 2024. P. 1–4. DOI: 10.46620/URSIATRASC24/COMM1727.

2.2.1.4. Исследование откликов регионального электронного содержания на геомагнитные события методом наложенных эпох с использованием AE -индекса

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, д.ф.-м.н. М.В. Клименко², А.В. Веснин¹, К.В. Бельюченко¹.

¹ИСЗФ СО РАН, ²КФ ИЗМИРАН

Проведено исследование статистических закономерностей откликов регионального электронного содержания на геомагнитные события в высоких, средних и экваториальных широтах. Эти отклики можно разделить на три типа (рис. 2.1.1.4.1): А (положительное возмущение), N (комбинированное возмущение) и V (отрицательное возмущение). Положительные пики сконцентрированы в интервале 1–4 ч после максимума AE , отрицательные имеют широкий разброс от 7 до 35 ч после максимума AE . Положительные отклики в экваториальной зоне и сезонная структура откликов в среднеширотной зоне соответствуют концепции термосферной бури. Положительные отклики в высокоширотной зоне в эту концепцию не укладываются. В качестве причины положительных откликов в высокоширотной зоне предложено увеличение температуры электронов, приводящее к увеличению шкалы высот внешней ионосферы и росту полного электронного содержания.

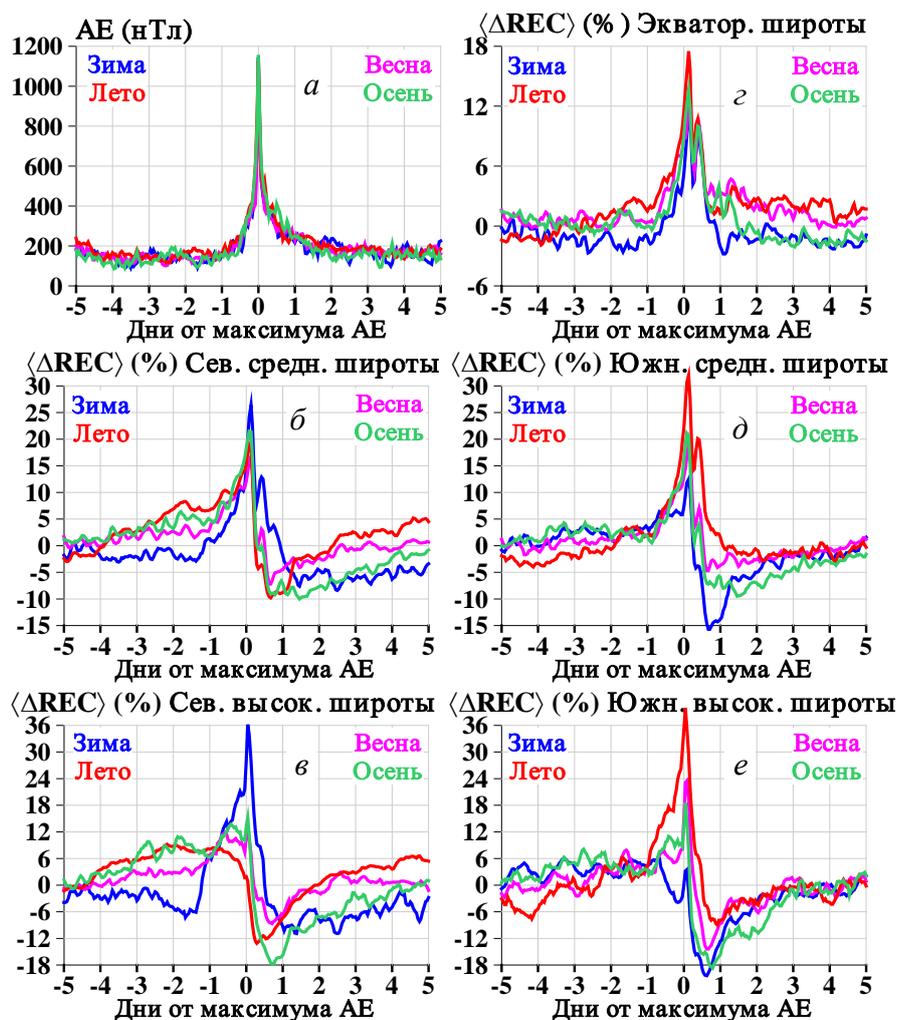


Рис. 2.2.1.4.1. Усредненные АЕ-индексы (а) и ионосферные отклики для экваториальной зоны (з), среднеширотной (б — Северное полушарие, д — Южное) и высокоширотной (е — Северное полушарие, е — Южное)

Публикация:

Ратовский К.Г., Клименко М.В., Веснин А.М., Белюченко К.В. Отклики регионального электронного содержания на геомагнитные события в высоких, средних и экваториальных широтах, полученные методом наложения эпох с использованием АЕ-индекса // Солнечно-земная физика (в печати).

2.2.1.5. Метод эффективных вычитаний: работа с данными Иркутского радара некогерентного рассеяния

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — В.П. Ташлыков, к.ф.-м.н. С.С. Алсаткин, чл.-корр. А.В. Медведев, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

Разработан метод эффективных вычитаний, позволяющий улучшить пространственное разрешение измерений Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) за счет обработки разностных профилей мощности сигналов некогерентного рассеяния. Предложен и протестирован подход к решению обратной задачи, основанный на алгоритме глобальной оптимизации (ISRES). Данный алгоритм не требует подстройки начальных условий для решения и демонстрирует высокую устойчивость. Он был протестирован сравнением профилей электронной концентрации, полученных независимо разными методами:

(1) данные Иркутского ионозонда; (2) анализ широкополосного сигнала ИРНР с решением обратной задачи путем полного перебора возможных вариантов; (3) анализ узкополосных сигналов ИРНР методом эффективных вычитаний с решением обратной задачи путем применения алгоритма ISRES. Результат сравнения всех трех методов показал качественное согласие (рис. 2.1.1.5.1), при этом метод определения электронной концентрации на основе алгоритмов оптимизации имеет намного более высокую производительность. Подход к решению обратной задачи с помощью алгоритмов оптимизации имеет перспективы для задач с большим числом параметров, в том числе для задач восстановления сложного профиля электронной концентрации.

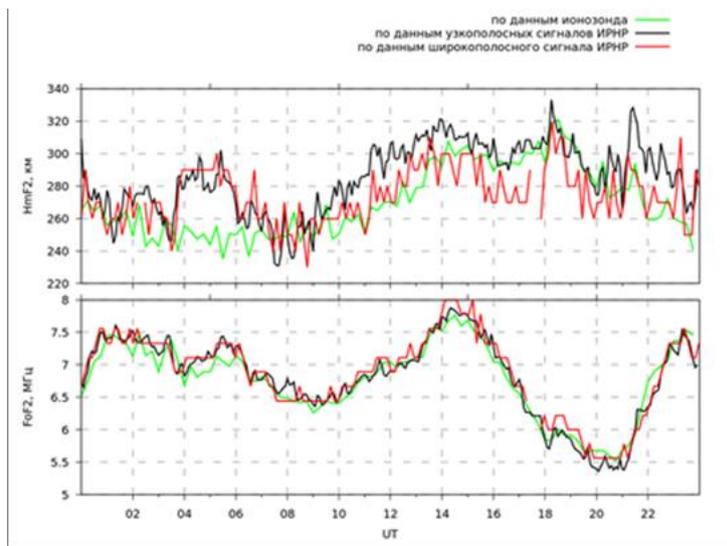


Рис. 2.2.1.5.1. Сравнение высоты максимума h_mF2 и критической частоты f_oF2 , полученных ионозондом (зеленые кривые), ИРНР с использованием узкополосного сигнала (черные) и ИРНР с использованием широкополосного сигнала (красные) для 05.06.2015

Публикация:

Ташлыков В.П., Алсаткин С.С., Медведев А.В., Ратовский К.Г. Метод эффективных вычитаний: работа с данными Иркутского радара некогерентного рассеяния // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 1. С. 68–73. DOI: 10.12737/szf-101202409.

2.2.1.6. Комплексное исследование динамики средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария в спокойных и возмущенных условиях на основе анализа данных мультиинструментальных наблюдений

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская¹, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, А.Г. Сетов¹, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев¹, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич¹, А.С. Калишин², А.Е. Степанов³, А.Ю. Белинская⁴, В.В. Бычков⁵, С.А. Григорьева⁶, В.А. Панченко⁷

¹ИСЗФ СО РАН, ²ААНИИ, ³ИКФИА СО РАН, ⁴ИНГТ СО РАН, ⁵ИКИР ДВО РАН, ⁶ИГФ УрО РАН, ⁷ИЗМИРАН

Исследованы вариации ионосферных и термосферных параметров над регионом Евразии на основе анализа данных высоко- и среднеширотной цепей ионозондов и приемников GPS/ГЛОНАСС в период сильной магнитной бури в октябре 2016 г. Отмечены существенные широтные и долготные различия в особенностях временных вариаций электронной концентрации ионосферы как в спокойных условиях до начала магнитной бури, так и во время ее развития (рис. 2.2.1.6.1). Зарегистрировано проявление эффекта предбури в виде роста максимальной дневной критической частоты f_oF2 12 октября 2016 г. за полсу-

ток до начала магнитной бури. На главной фазе магнитной бури наблюдался переход от положительного эффекта ионосферной бури к отрицательному как в высоких, так и в средних широтах над Евразией. На восстановительной фазе магнитной бури и после нее наблюдался эффект отрицательной ионосферной бури. Он был вызван образованием обширных областей атмосферного газа с пониженным отношением концентраций $[O]/[N_2]$ над регионом высоких и средних широт Евразии.

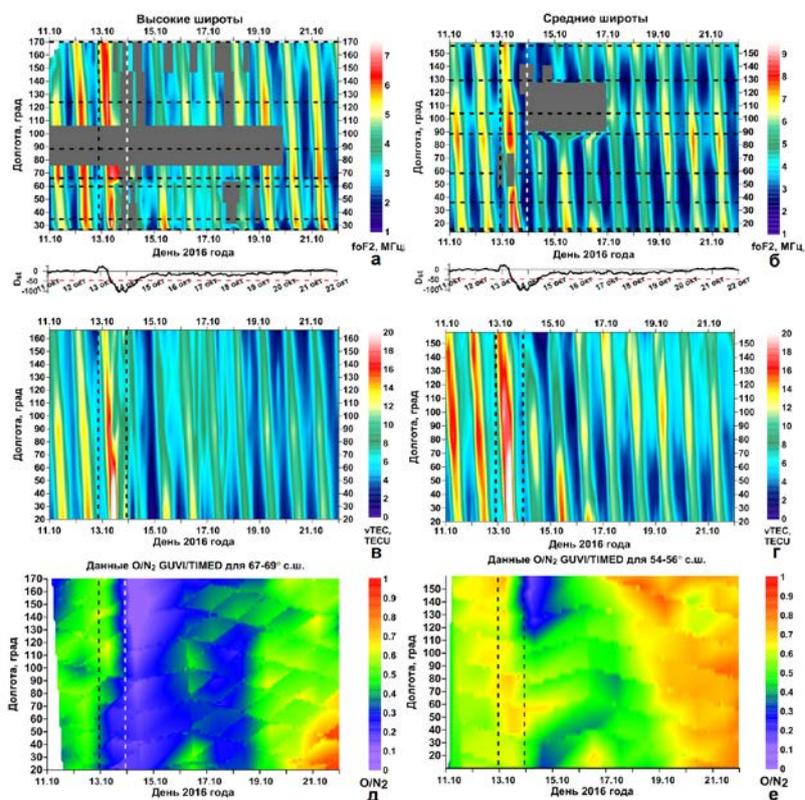


Рис. 2.2.1.6.1. Долготно-временные распределения критической частоты f_oF2 по данным высокоширотной (а) и среднеширотной (б) цепей ионозондов; полного электронного содержания $vTEC$ по данным высокоширотной (в) и среднеширотной (г) цепей приемников GPS/ГЛОНАСС и $[O]/[N_2]$ на высотах термосферы по измерениям GUVI TIMED над Евразией вдоль широтных полос ($69^\circ\text{--}71^\circ\text{ N}$) (д) и ($54^\circ\text{--}56^\circ\text{ N}$) (е)

Публикация:

Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Сетов А.Г., Хабитуев Д.С., Ясюкевич А.С., Калишин А.С., Степанов А.Е., Белинская А.Ю., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А. Ионосферные и термосферные эффекты над Евразией в высоких и средних широтах во время магнитной бури в октябре 2016 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 5. С. 357–376. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-357-376.

2.2.1.7. Экспериментальное исследование высокочастотных перемещающихся ионосферных возмущений по данным радиофизического комплекса ИСЗФ СО РАН

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.В. Толстикова, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, чл.-корр. А.В. Медведев.

Проанализированы характеристики распространения перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), полученные с 5-минутным шагом. В предположении, что ПИВ являются проявлением внутренних гравитационных волн (ВГВ), характеристики ПИВ

анализировались на предмет соответствия дисперсионному соотношению Буссинеска с учетом нейтрального ветра. Результаты наблюдений показаны на рис. 2.2.1.7.1, б, где цветом показана относительная частота наблюдения ПИВ. С учетом того, что ВГВ преимущественно распространяются против ветра, характеристики ПИВ должны находиться ниже дисперсионной кривой (зеленые стрелки на рис. 2.2.1.7.1, а). Согласно соответствию дисперсионному соотношению, ПИВ можно разделить на шесть групп: (0) ПИВ с периодами >30 мин, подавляющее большинство которых лежит под кривой дисперсионного соотношения (источником являются ВГВ); (1) ПИВ с периодами <30 мин, лежащие под кривой дисперсионного соотношения и углами наклонения по модулю >10° (высокочастотные ВГВ); (2) ПИВ, лежащие под кривой дисперсионного соотношения и углами наклонения по модулю <10° (отраженные ВГВ). ПИВ групп (3)–(5), выделенные цветом на рисунке, не соответствуют дисперсионному соотношению (лежат значительно выше кривой).

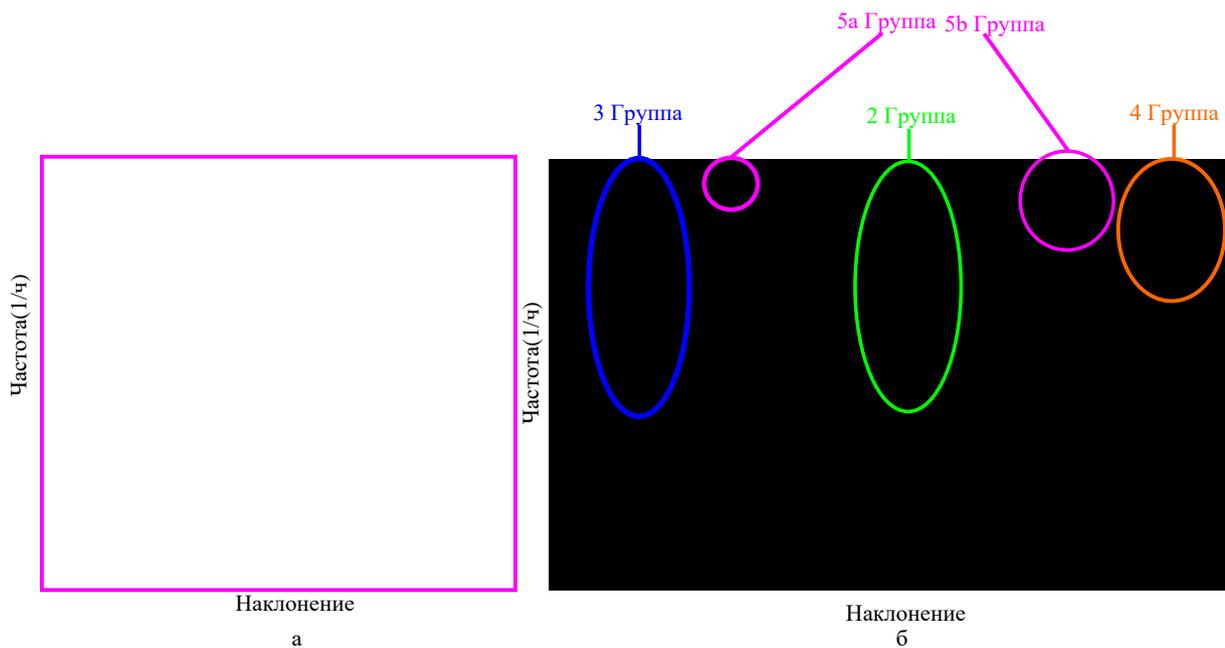


Рис. 2.2.1.7.1. Зависимость частоты ПИВ от угла распространения (наклонения) в соответствии с дисперсионным соотношением без учета нейтрального ветра (а), смещение частоты вследствие воздействия ветра показано стрелками (зеленая — встречный, красная — попутный); б — относительная частота (показана цветом) наблюдения ПИВ (отношение числа ПИВ, наблюдавшихся на данной частоте с данным наклоением к общему числу ПИВ, наблюдавшихся на данной частоте)

Публикация:

Толстиков М.В., Ратовский К.Г., Медведев А.В. Экспериментальное исследование высокочастотных перемещающихся ионосферных возмущений по данным радиофизического комплекса ИСЗФ СО РАН // 22-я международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2024. XXII.1.437.

2.2.1.8. Метод поиска минимальной ширины нейронной сети

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-корр. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

Разработан алгоритм поиска минимального количества нейронов в полносвязных слоях произвольной сети, решающей заданную задачу, который не требует многократного

обучения сети с различным количеством нейронов. Алгоритм основан на обучении исходной широкой сети с использованием метода перекрестной проверки (кросс-валидации) по крайней мере, на двух фолдах. Затем с помощью усеченного автокодировщика сингулярного разложения, вставленного после исследуемого слоя обученной сети, ищется минимальное количество нейронов в режиме только прогноза нейронной сетью, исходя из достижения расчетной метрики качества прогноза, определяемой по предложенной формуле (рис. 2.2.1.8.1). Показано, что минимальное количество нейронов в полносвязном слое можно интерпретировать как внутреннее (скрытое) свойство решения, определяемое архитектурой сети, набором обучающих данных, положением слоя и используемой метрикой качества, и можно оценить в первом приближении для каждого скрытого полносвязного слоя. Метод проверен на нескольких тестовых датасетах. Метод разработан для последующего применения в решении задач анализа данных когерентных радаров ИСЗФ СО РАН и развития методов интерпретируемых нейронных сетей в применении к этим задачам.

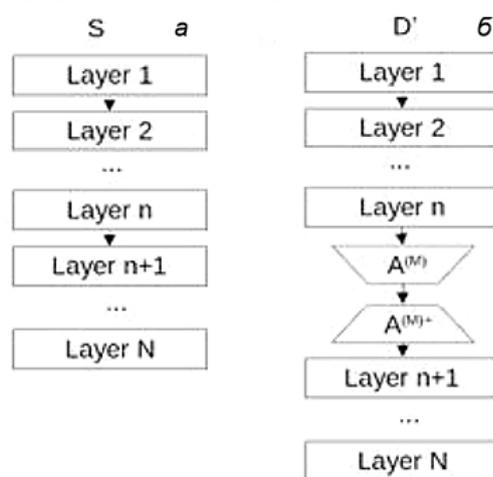


Рис. 2.2.1.8.1. Архитектура проверяемой нейронной сети (а) и способ поиска минимального числа нейронов в слое n (б)

Публикация:

Berngardt O.I. Minimum number of neurons in fully connected layers of a given neural network (the first approximation) // arXiv:2405.14147 [cs.LG], <https://arxiv.org/abs/2405.14147>, DOI: 10.48550/arXiv.2405.14147.

2.2.2. Теоретические и экспериментальные исследования распространения дециметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов

2.2.2.1. Комплексный алгоритм моделирования коротковолновых радиотрасс

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения дециметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук, д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. Н.В. Ильин, к.ф.-м.н. В.П. Грозов, М.С. Пензин, к.ф.-м.н. В.В. Хахинов.

Разработан и реализован комплексный алгоритм для моделирования коротковолновых (КВ) радиотрасс, включающий модель среды, алгоритмы расчета характеристик сигналов и автоматической интерпретации ионограмм. Расчет характеристик КВ-сигналов

проводится в рамках волноводного подхода — метода нормальных волн, с использованием высотных профилей электронной концентрации и эффективной частоты соударений электронов, а также электрических параметровстилающей поверхности в заданных точках вдоль радиотрассы. Рассчитываются дистанционно-частотные, частотно-угловые и амплитудные характеристики КВ-сигналов с учетом параметров приемных и передающих антенно-фидерных устройств. В комплексном алгоритме сняты ограничения на нижние границы частотного диапазона и длину радиотрассы, что позволяет моделировать характеристики КВ-сигналов как для коротких (рис. 2.2.2.1.1), так и для сверхдлинных радиотрасс (рис. 2.2.2.1.2). Для анализа экспериментальных данных наклонного зондирования (НЗ) реализована автоматическая обработка и интерпретация ионограмм. Программные модули расчета частотных и амплитудных характеристик сигналов НЗ используются для моделирования характеристик сигналов возвратно-наклонного зондирования. Результаты работы комплексного алгоритма могут быть использованы для определения диапазонов оптимальных рабочих частот и для адаптации радиосистем к условиям распространения.

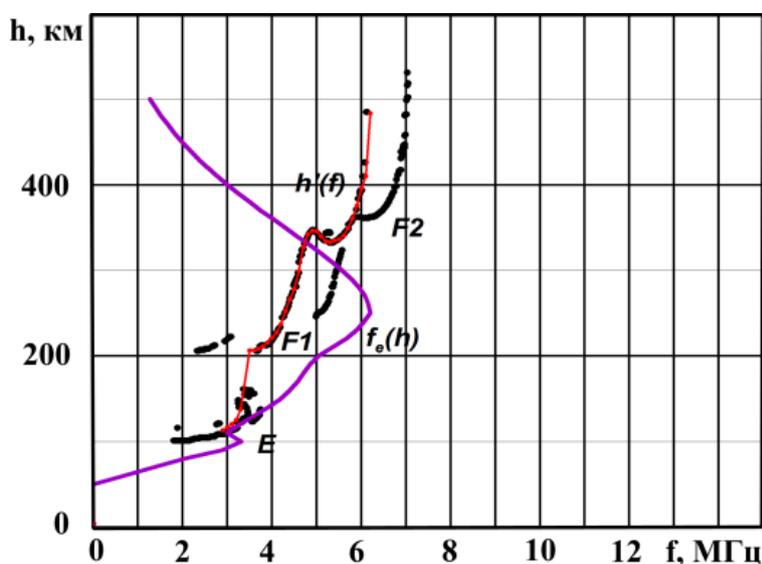


Рис. 2.2.2.1.1. Ионограмма вертикального зондирования (черные точки) и результаты моделирования высотно-частотной характеристики $h'(f)$ (красная линия) по профилю плазменной частоты $f_e(h)$ (бордовая линия)

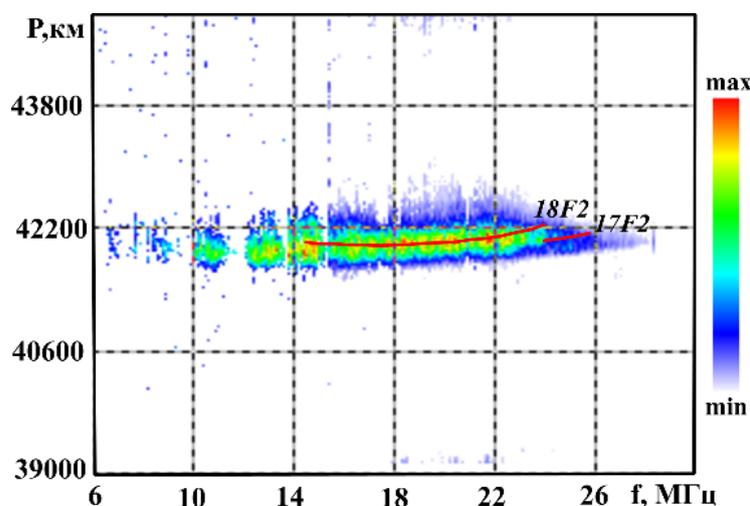


Рис. 2.2.2.1.2. Ионограмма НЗ на кругосветной трассе и результаты моделирования и интерпретации (красная линия) модов распространения $17F2$ и $18F2$ (число отражений траектории распространения сигнала от F2-слоя ионосферы)

Публикации:

Пономарчук С.Н., Ильин Н.В., Куркин В.И., Пензин М.С. Применение волноводного подхода для исследования коротковолновых радиотрасс // Радиотехника и электроника. 2024. Т. 69, № 6. С. 513–523. DOI: 10.31857/S0033849424060028.

Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Ильин Н.В., Пензин М.С. Моделирование КВ-радиотрасс на основе волноводного подхода // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 99–108. DOI: 10.12737/szf-102202409.

Пономарчук С.Н., Грозов В.П. Автоматическая интерпретация ионограмм наклонного зондирования на основе гибридных алгоритмов // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 109–118. DOI: 10.12737/szf-102202410.

2.2.2.2. Многопозиционная сеть ЛЧМ-ионозондов для непрерывного мониторинга характеристик ионосферных возмущений в Азиатском регионе России

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.И. Куркин¹, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный¹, М.В. Цедрик¹, к.ф.-м.н. А.Ю. Белинская², А.И. Поддельский³, к.ф.-м.н. В.П. Грозов¹, В.А. Иванова¹, к.ф.-м.н. Н.А. Золотухина¹, к.ф.-м.н. О.А. Ларюнин¹, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац¹, к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук¹, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, А.В. Софьин¹.

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск; ²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск; ³Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, г. Паратунка.

ИСЗФ СО РАН совместно с ИНГГ СО РАН и ИКИР ДВО РАН организован непрерывный мониторинг состояния ионосферы по данным вертикального, слабонаклонного и наклонного зондирования (ВЗ, СНЗ и НЗ) в Азиатском регионе России (рис. 2.2.2.2.1). Зондирование ионосферы проводится с использованием многофункционального цифрового ионозонда с непрерывным линейно-частотно-модулированным (ЛЧМ) сигналом, разработанного в ИСЗФ СО РАН.

Анализ полученных данных позволяет исследовать влияние динамики крупномасштабных структур (главного ионосферного провала, зоны диффузных высыпаний электронов) на вариации характеристик ионосферы и распространение КВ-сигналов во время геомагнитных бурь.

Учащенный режим зондирования (со скважностью 1 мин и менее) при ВЗ и СНЗ ионосферы позволяет реализовать алгоритмы вычисления скорости движения ионосферных возмущений с масштабами десятки километров и исследовать морфологические особенности таких возмущений при различной солнечной активности в зависимости от сезона и времени суток.

Реализация зондирования со скважностью 5 мин на односкачковых трассах НЗ позволяет исследовать характеристики перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) с пространственными масштабами сотни километров в субполярной и среднеширотной ионосфере в различных гелиогеофизических условиях. Выявлена высокая среднесуточная вероятность регистрации ПИВ на ионограммах НЗ для среднеширотных радиотрасс (до 40–50 %). При этом суточный ход вероятности регистрации ПИВ (P_t) на среднеширотных радиотрассах в Азиатском регионе России имеет ярко выраженную сезонную зависимость. Для зимнего сезона наблюдается дневной максимум P_t . В летний сезон максимум P_t приходится на ночные часы местного времени в средней точке соответствующей трассы. В весенний и осенний сезоны наблюдаются существенные изменения как вероятности регистрации ПИВ ото дня ко дню, так и длительности регистрации отдельных ПИВ в течение суток.

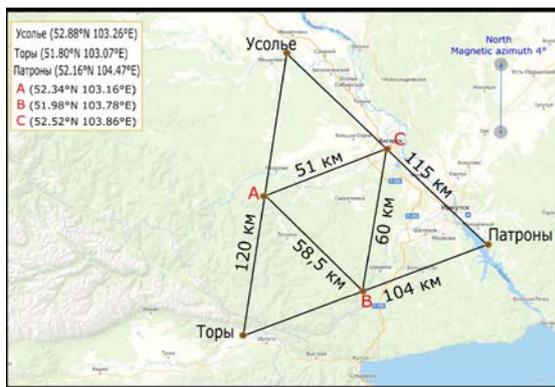


Рис. 2.2.2.2.1. Трассы слабонаклонного зондирования ионосферы в окрестности г. Иркутска (слева) и трассы наклонного зондирования в Азиатском регионе России (справа)

Публикации:

Kurkin V.I., Zolotukhina N.A., Ponomarchuk S.N., Oinats A.V., Ratovskii K.G. Specific Features of ionospheric disturbances accompanying the magnetic storm of January 14–20, 2022 // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 6. P. 869–880. DOI: 10.1134/S0016793224600784.

Ларюнин О.А., Куркин В.И., Рыбкина А.А., Подлесный А.В. Определение скорости движения ионосферных возмущений по динамике U-образных треков на ионограммах // *Геомагнетизм и аэрномия*. 2024. Т. 64, № 2. С. 265–271. DOI: 10.31857/S0016794024020091.

Kurkin V.I., Podlesny A.V., Tsedrik M.V., Soph'in A.V. Seasonal and daily features of the characteristics of medium-scale traveling ionospheric disturbances in Asian Russia in years of moderate solar activity // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 3. P. 369–375. DOI: 10.1134/S001679322460005X.

2.2.2.3. Возмущения ионосферного радиоканала во время геомагнитных бурь в ноябре–декабре 2023 г.

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук, к.ф.-м.н. Н.А. Золотухина.

Исследованы возмущения ионосферного радиоканала во время магнитных бурь в ноябре–декабре 2023 г. на основе экспериментальных данных наклонного зондирования на субавроральных трассах Магадан — Иркутск и Норильск — Иркутск. Установлены межпланетные источники магнитных бурь, а также определены крупномасштабные структуры ионосферы, влияющие на условия распространения радиоволн во время геомагнитных возмущений. На ионограммах наклонного зондирования в вечерние и ночные часы регистрируются дополнительные х-сигналы с задержками и максимальными наблюдаемыми частотами (МНЧ), превышающими соответствующие параметры стандартных модов распространения радиоволн в невозмущенных условиях. Их появление может быть связано с рефракцией радиоволн на полярной стенке главного ионосферного провала (ГИП) и рассеянием на мелкомасштабных неоднородностях. Установлено, что сильные вариации МНЧ (рис. 2.2.2.3.1) и особенности модовой структуры сигналов (рис. 2.2.2.3.2) связаны с изменениями широтного положения ГИП и экваториальной границы диффузных высываний электронов (ГДВ) относительно средней точки радиотрассы в условиях усиления электрического поля магнитосферной конвекции на главной фазе бурь.

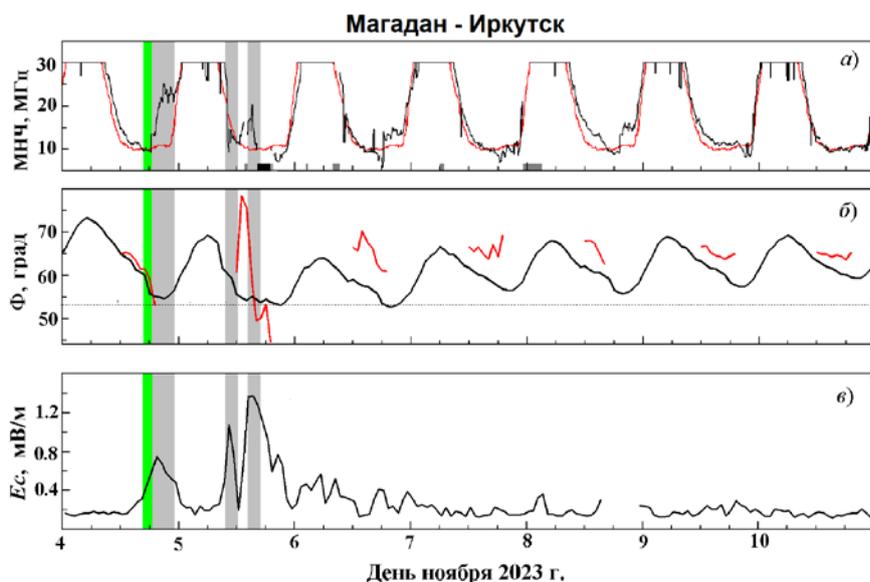


Рис. 2.2.2.3.1. Вариации МНЧ (а), инвариантных широт ГИП и ГДВ на меридиане 120° Е (б), напряженности электрического поля магнитосферной конвекции (в) для 4–10 ноября 2023 г.: зеленые прямоугольники — начало бури, серые — ступени главной фазы бури

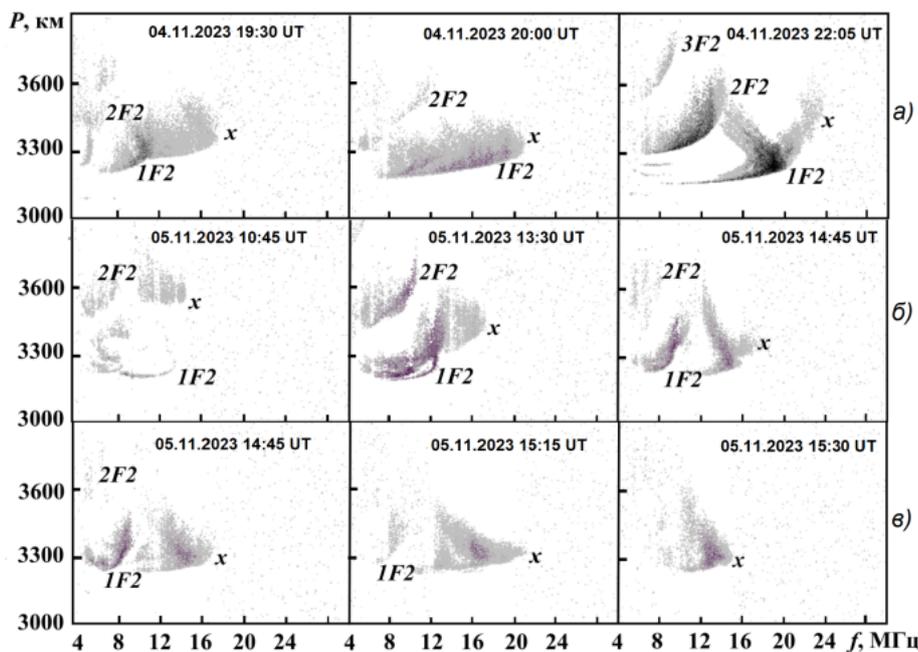


Рис. 2.2.2.3.2. Ионограммы наклонного зондирования на трассе Магадан – Иркутск (а–в) на главной фазе бури

Публикации:

Пономарчук С.Н., Золотухина Н.А. Возмущения ионосферного радиоканала во время магнитных бурь в ноябре–декабре 2023 года // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 91–105. DOI: 10.12737/szf-104202410.

Пономарчук С.Н., Золотухина Н.А. Возмущения ионосферного радиоканала во время магнитных бурь в ноябре–декабре 2023 года // Материалы XXX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 1–5 июля 2024 г., Санкт-Петербург. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E63–E68. DOI: 10.56820/OAO30E11.

2.2.2.4. Комплексное исследование динамики средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария в спокойных и возмущенных условиях на основе анализа данных мультиинструментальных наблюдений

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А.Черниговская¹, А.Г. Сетов¹, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, к.ф.-м.н. А.С. Калишин², д.ф.-м.н. А.Е. Степанов³.

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск; ²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; ³Институт космических исследований и аэронавтики СО РАН, г. Якутск.

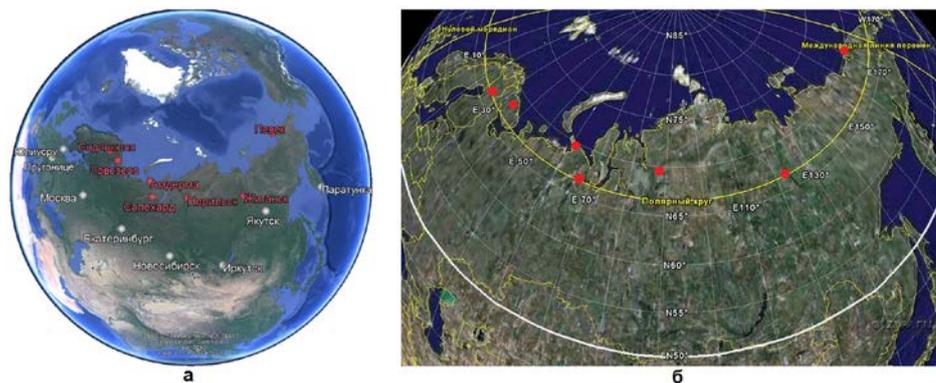


Рис. 2.2.2.4.1. Расположение ионозондов высоко- и среднеширотных евразийских цепей (а); расположение ионозондов высокоширотной цепи относительно северного полярного круга (б)

Проанализированы долго- и коротковременные вариации параметров ионосферы над Евразийским континентом на основе данных цепи высокоширотных ионозондов вдоль широтного круга $\sim 70^\circ$ N (геомагнитные широты от 58° до 65°) в долготном секторе $26-171^\circ$ E (рис. 2.2.2.4.1) во время экстремальных магнитных бурь 24-го цикла солнечной активности в марте ($Dst = -223$ нТл) и июне ($Dst = -204$ нТл) 2015 г. Для анализа отклика ионизации ионосферы на геомагнитные возмущения использовались среднечасовые значения критической частоты f_oF2 слоя F2 ионосферы. Отмечены сильные различия временных вариаций f_oF2 для анализируемых периодов магнитных бурь, которые, вероятно, связаны с характерными особенностями сезонного и суточного хода фоновой высокоширотной ионосферы данного географического региона (рис. 2.2.2.4.2). На главных и ранних восстановительных фазах магнитных бурь наблюдались периоды блэкаутов радиосигналов ионозондов. Отмечены различия в характере реакции ионосферы на геомагнитные возмущения, связанные, по всей видимости, с сезонными особенностями возникновения положительной или отрицательной фазы ионосферной бури в разные сезоны года. Тенденция повышения ионизации ионосферы над обширным регионом Восточной и Западной Сибири и Европы после завершения экстремальной магнитной бури в марте 2015 г. по данным цепи высокоширотных ионозондов может быть связана с образованием над этой территорией области увеличенного отношения $[O]/[N_2]$. Подобный рост ионизации ионосферы с повышением значений f_oF2 относительно фона можно рассматривать как яркое проявление эффекта последствия магнитных бурь.

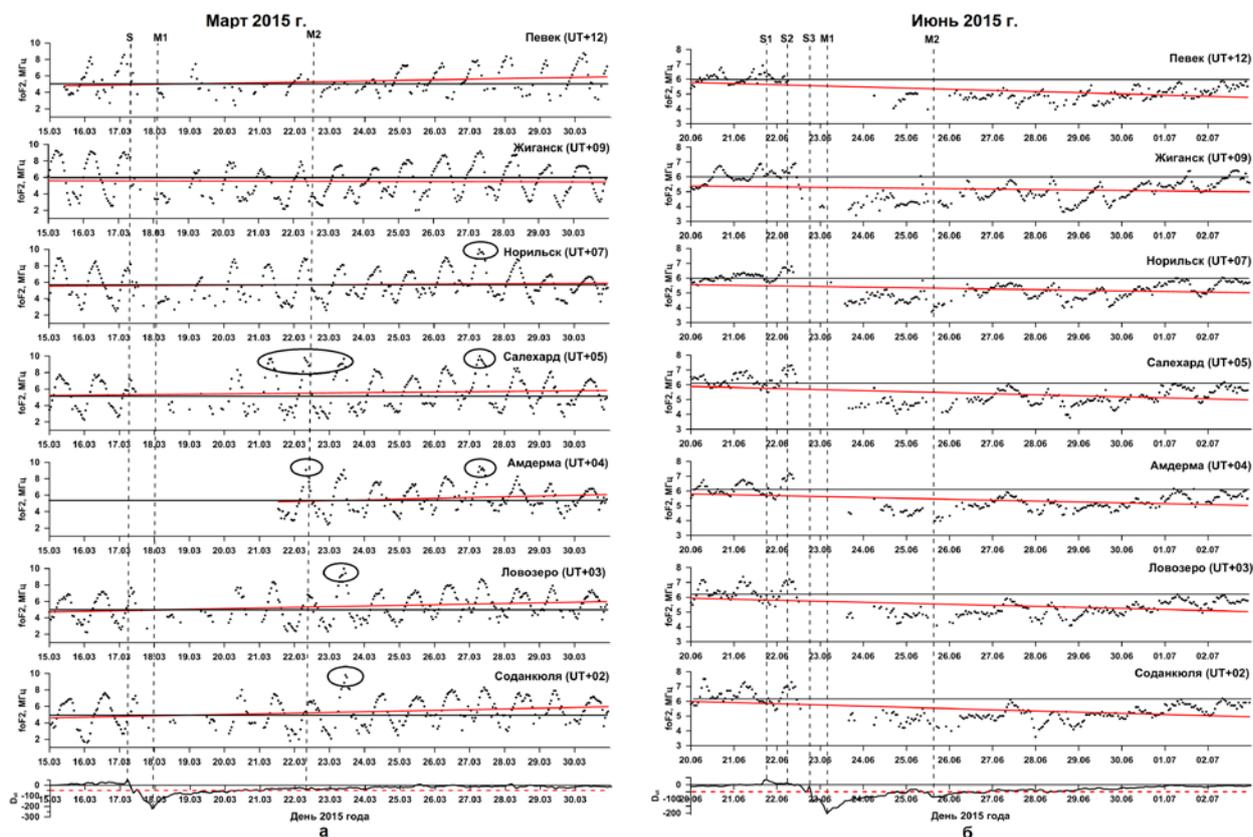


Рис. 2.2.2.4.2. Временные (UT) вариации f_oF2 (черные точки) по данным ионозондов высокоширотной цепи и вариации индекса D_{st} для магнитных бурь в марте (а) и июне (б) 2015 г.: черные сплошные горизонтальные линии — среднесуточные уровни f_oF2 , рассчитанные по 14 спокойным дням до момента начала бурь; красные сплошные горизонтальные линии — линейные тренды временных вариаций f_oF2 ; вертикальные штриховые линии — моменты начала бури (с буквой «S») и моменты максимумов интенсивности магнитных бурь (с буквой «M»)

Публикация:

Черниговская М.А., Сетов А.Г., Ратовский К.Г., Калишин А.С., Степанов А.Е. Изменчивость ионизации ионосферы над Евразией по данным цепи высокоширотных ионозондов во время экстремальных магнитных бурь 2015 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 38–52. DOI: 10.12737/szf-102202404.

2.2.2.5. Пространственно-временное развитие поглощения космического шума на субавроральных широтах по данным мультистанционных наблюдений с помощью наземных риометров

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — Y. Kato¹, K. Shiokawa¹, Y. Tanaka^{2,3,4}, M. Ozaki⁵, A. Kadokura^{2,3,4}, S.-i. Oyama^{1,4}, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац⁶, M. Connors⁷, к.ф.-м.н. Д. Баишев⁸.

¹Институт исследований околоземного космического пространства, Нагоя, Япония; ²Объединенный центр поддержки исследований в области науки о данных / Центр науки о данных в области полярной среды, Тачикава, Япония; ³Университет повышения квалификации, Хаяма, Япония; ⁴Институт полярных исследований, Тачикава, Япония; ⁵Университет Канадзавы, Канадзава, Япония; ⁶ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; ⁷Университет Атабаски, Атабаска, Канада; ⁸Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия.

Увеличение поглощения космического радишума в авроральной и субавроральной областях (авроральное поглощение, АП) связывают с увеличением электронной плотности в D-области ионосферы из-за высыпания электронов высокой энергии (>30 кэВ). В настоящее время исследований пространственно-временного развития АП на сети наземных станций, распределенных по долготе в субавроральных широтах, где перемешиваются частицы плазмы с широким диапазоном энергий, немного и глобальное пространственно-временное распределение АП изучено недостаточно. В рамках исследования изучалась долготная протяженность АП по данным одновременных риометрических наблюдений на шести субавроральных станциях в Канаде, Аляске, России и Исландии. Станции расположены примерно на 60° северной магнитной широты. Одновременные наблюдения проводились с октября 2017 г. по март 2021 г.

Изучалось пространственное развитие АП во время семи суббурь, сопровождавших геомагнитную бурю 25–28 августа 2018 г. Показано, для всех семи суббурь на некоторых станциях наблюдалось усиление поглощения после начала суббури. В пяти случаях усиление АП началось около полуночи и область АП расширялась на восток. Два других случая показывают распространение области АП на запад. Расширение области АП на восток указывает на дрейф на восток высокоэнергетических электронов, которые являются источником АП, из-за градиента и кривизны геомагнитного поля. Расширение области АП на запад может соответствовать расширению на запад области инъекции суббури из-за электрических полей, направленных из рассветной области в область заката. Следовательно, пространственно-временное развитие АП на субавроральных широтах соответствует дрейфу электронов высоких энергий во внутренней магнитосфере.

Статистический анализ за период с 2017 по 2020 г. показал, что самая высокая частота возникновения резких повышений АП наблюдается в ночь, в 22–08 ч магнитного местного времени, а самая низкая частота — вблизи сумерек, в 17–21 ч магнитного местного времени. Статистически показано, что область резкого усиления АП расширяется на восток на рассветной стороне и на запад на вечерней стороне. Скорость расширения области АП оказалась несколько выше результатов предыдущих исследований в авроральной зоне. Корреляционный анализ и анализ методом наложенных эпох показали, что интенсивность АП зависит от B_z -компоненты межпланетного магнитного поля, E_y -компоненты межпланетного электрического поля, индексов *SYM-H* и *SME*. Таким образом, усиление АП на субавроральных широтах тесно связано с солнечным ветром и геомагнитной активностью, а характеристики распространения АП соответствуют динамике электронов высоких энергий во внутренней магнитосфере.

Публикации:

Kato Y., Shiokawa K., Tanaka Y., Ozaki M., Kadokura A., Oyama S.-i., Oinats A., Connors M., Baishev D. Longitudinal development of cosmic noise absorption based on multipoint observations at subauroral latitudes during storm-time substorms on 25–28 August 2018 // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2024. Vol. 129, no. 1, e2023JA031950. DOI: 10.1029/2023JA031950.

Kato Y., Shiokawa K., Tanaka Y., Ozaki M., Kadokura A., Oyama S.-i., Oinats A., Connors M., Baishev D. Spatiotemporal development of cosmic noise absorption at subauroral latitudes using multipoint ground-based riometers // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2024. Vol. 129, no.7, e2023JA032206. DOI: 10.1029/2023JA032206.

2.2.2.6. Вариации наинизших наблюдаемых частот во время рентгеновских солнечных вспышек классов M и X в апреле 2022 г.

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руко-

водитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — В.А. Иванова¹, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный¹, А.И. Поддельский².

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск; ²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, г. Паратунка.

Взрывные процессы выделения энергии в атмосфере Солнца, называемые солнечными вспышками, оказывают значительное влияние на верхнюю атмосферу Земли. Солнечные вспышки в рентгеновском диапазоне вызывают рост ионизации на высотах областей D и E ионосферы. Для анализа откликов ионосферы на солнечные вспышки на основе данных наклонного зондирования используется наименьшая наблюдаемая частота (ННЧ).

Проведен анализ откликов ННЧ на семь рентгеновских солнечных вспышек классов M и X в апреле 2022 г. Данные наклонного зондирования были получены на трассе Магадан – Торы протяженностью 3100 км. Координаты передатчика в Магадане — 60° N, 150.7° E, приемника в пос. Торы (Бурятия) — 51.8° N, 103° E. Интервал между сеансами зондирования 5 мин. Обработка данных была выполнена в интерактивном режиме.

Максимальное увеличение ННЧ по сравнению со спокойным уровнем было зарегистрировано во время наиболее интенсивных солнечных вспышек классов X1.1 (17.04.2022), M7.2 и X2.2 (20.04.2022), M9.6 (21.04.2022) (рис. 2.2.2.6.1). Отклонение ННЧ в моменты этих рентгеновских солнечных вспышек достигало 9 МГц. Во время более слабых солнечных вспышек вариации ННЧ достигали 4–7 МГц.

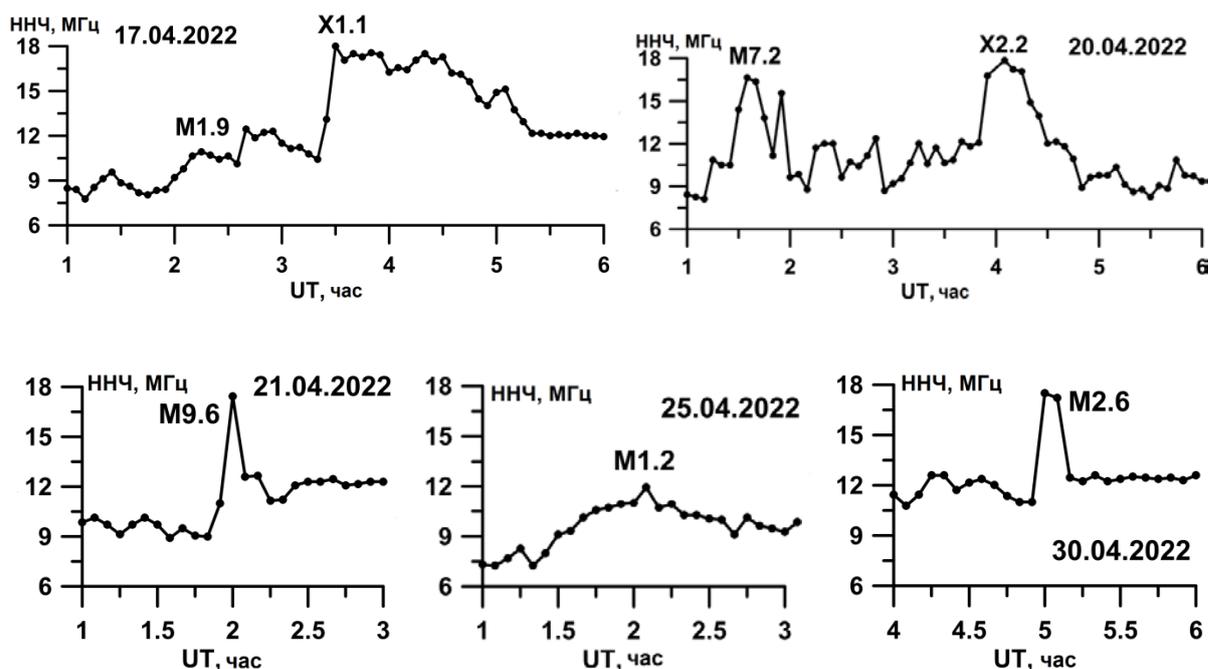


Рис. 2.2.2.6.1. Вариации ННЧ во время рентгеновских солнечных вспышек

Публикация:

Иванова В.А., Подлесный А.В., Поддельский А.И. Вариации наименьших наблюдаемых частот во время рентгеновских солнечных вспышек классов M и X в апреле 2022 г. // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: сборник докладов XXX Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Электрон. текстовые, граф. данные. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E158–E161. DOI: 10.56820/OAO30E24.

2.2.2.7. Комплексное исследование динамики средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария в спокойных и возмущенных условиях на основе анализа данных мультиинструментальных наблюдений

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская¹, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, А.Г. Сетов¹, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев¹, д.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич¹, к.ф.-м.н. А.С. Калишин², д.ф.-м.н. А.Е. Степанов³, к.ф.-м.н. А.Ю. Белинская⁴, к.ф.-м.н. В.В. Бычков⁵, к.ф.-м.н. С.А. Григорьева⁶, к.ф.-м.н. В.А. Панченко⁷.

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск; ²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; ³Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск; ⁴Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск; ⁵Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, г. Паратунка; ⁶Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, г. Екатеринбург; ⁷Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва.

Исследованы вариации ионосферных и термосферных параметров над регионом Евразии путем анализа данных высоко- и среднеширотной цепей ионозондов и приемников GPS/ГЛОНАСС в период сильной магнитной бури в октябре 2016 г. (рис. 2.2.2.7.1). Отмечены существенные широтные и долготные различия во временных вариациях электронной концентрации ионосферы как в спокойных условиях до начала магнитной бури, так и во время ее развития. По данным высокоширотных ионозондов в Жиганске, Амдерме, Ловозере, Соданкюле и среднеширотных ионозондов в Паратунке, Якутске, Иркутске зарегистрирован эффект предбури в виде роста максимальной дневной критической частоты f_oF2 12 октября 2016 г. за полсуток до начала магнитной бури. На главной фазе магнитной бури наблюдался переход от положительного к отрицательному эффекту ионосферной бури как в высоких, так и средних широтах Евразии. На восстановительной фазе магнитной бури и после нее наблюдался эффект отрицательной ионосферной бури до восстановления ионосферы 20–21 октября 2016 г. до уровня спокойных дней. Особенно ярко переход от роста электронной концентрации к резкому спаду проявился в ионосфере средних широт Евразии. Эффект отрицательной ионосферной бури на восстановительной фазе магнитной бури был вызван образованием обширных областей атмосферного газа с пониженным отношением концентраций $[O]/[N_2]$ над высоко- и среднеширотным регионом Евразии.

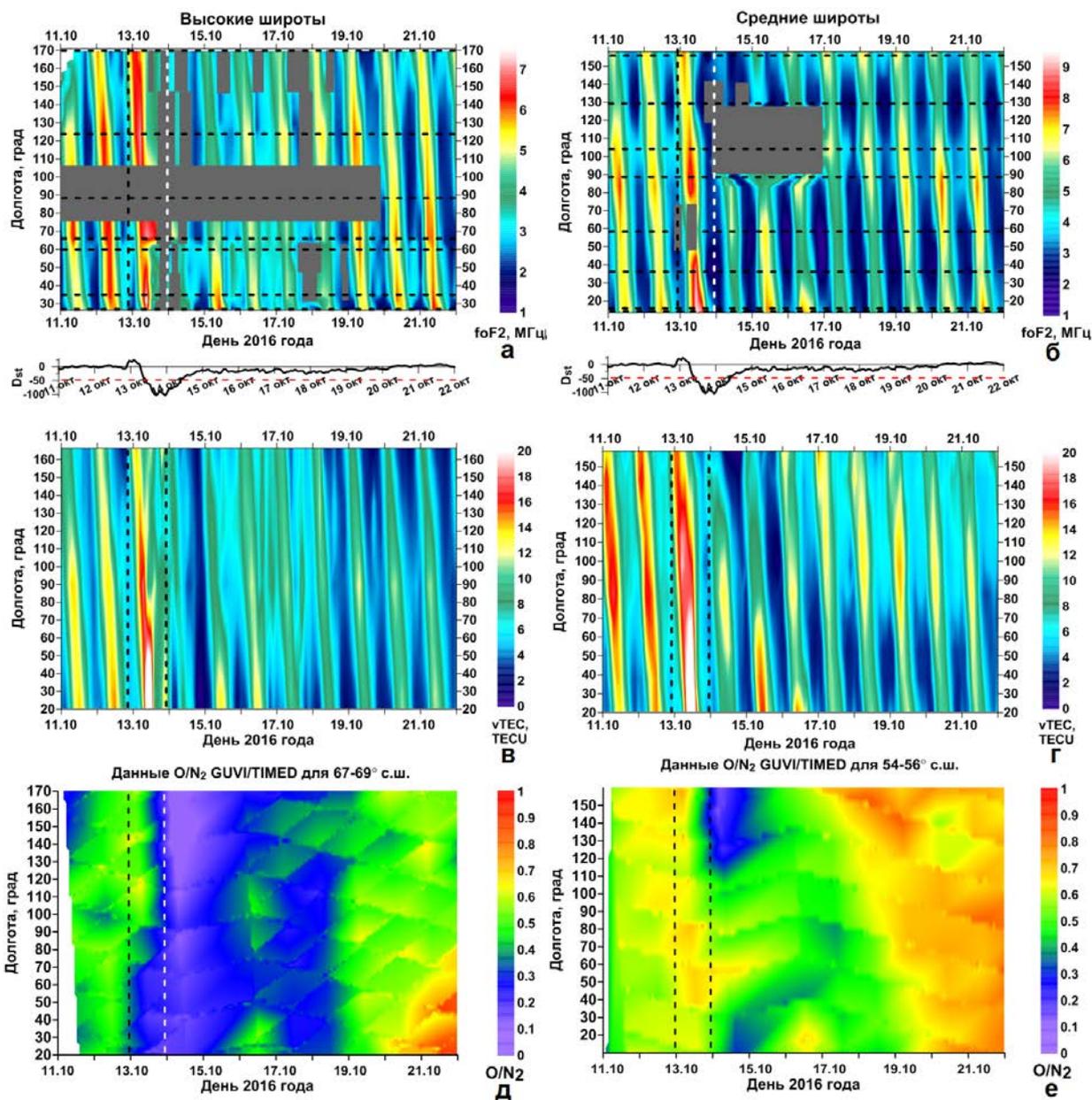


Рис. 2.2.2.7.1. Долготно-временные (UT) распределения f_oF2 по данным высоко- (а) и среднеширотной (б) цепей ионозондов; $vTEC$ по данным высоко- (в) и среднеширотной (г) цепей приемников GPS/ГЛОНАСС и $[O]/[N_2]$ на высотах термосферы по измерениям GUVI TIMED над Евразией вдоль широтных полос 69° – 71° N (д) и 54° – 56° N (е); вертикальными штриховыми линиями показаны моменты начала бури и максимума магнитной бури

Публикации:

Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Сетов А.Г., Хабитуев Д.С., Ясюкевич А.С., Калишин А.С., Степанов А.Е., Белинская А.Ю., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А. Ионосферные и термосферные эффекты над Евразией в высоких и средних широтах во время магнитной бури в октябре 2016 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 5. С. 357-376. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-357-376.

Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Сетов А.Г., Хабитуев Д.С., Калишин А.С., Степанов А.Е., Белинская А.Ю., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А. Долготные неоднородности ионосферной ионизации в Северном полушарии и их связь с возмущениями термосферного молекулярного газа во время геомагнитной бури // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: сборник докладов XXX Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Электрон. текстовые, граф. данные. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E130–E133. DOI: 10.56820/OAO30E17.

2.2.2.8. Вариации наиминимумных наблюдаемых частот во время рентгеновских солнечных вспышек классов М и Х в апреле 2022 г.

Проект «Теоретические и экспериментальные исследования распространения декаметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов». Руководитель — д.ф.-м.н. В.И. Куркин. Авторы результата — В.А. Иванова¹, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный¹, А.И. Поддельский².

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск; ²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, г. Паратунка.

Взрывные процессы выделения энергии в атмосфере Солнца, называемые солнечными вспышками, оказывают значительное влияние на верхнюю атмосферу Земли. Солнечные вспышки в рентгеновском диапазоне вызывают рост ионизации на высотах областей D и E ионосферы. Для анализа откликов ионосферы на солнечные вспышки на основе данных наклонного зондирования используется наиминимумная наблюдаемая частота (ННЧ).

Проведен анализ откликов ННЧ на семь рентгеновских солнечных вспышек классов М и Х в апреле 2022 г. Данные наклонного зондирования были получены на трассе Магадан — Торы протяженностью 3100 км. Координаты передатчика в Магадане — 60° N, 150.7° E, приемника в пос. Торы (Бурятия) — 51.8° N, 103° E. Интервал между сеансами зондирования 5 мин. Обработка данных была выполнена в интерактивном режиме.

Максимальное увеличение ННЧ по сравнению со спокойным уровнем было зарегистрировано во время наиболее интенсивных солнечных вспышек классов X1.1 (17.04.2022), M7.2 и X2.2 (20.04.2022), M9.6 (21.04.2022) (рис. 2.2.2.8.1). Отклонение наиминимумных наблюдаемых частот в моменты этих рентгеновских солнечных вспышек достигало 9 МГц. Во время более слабых солнечных вспышек вариации ННЧ достигали 4–7 МГц.

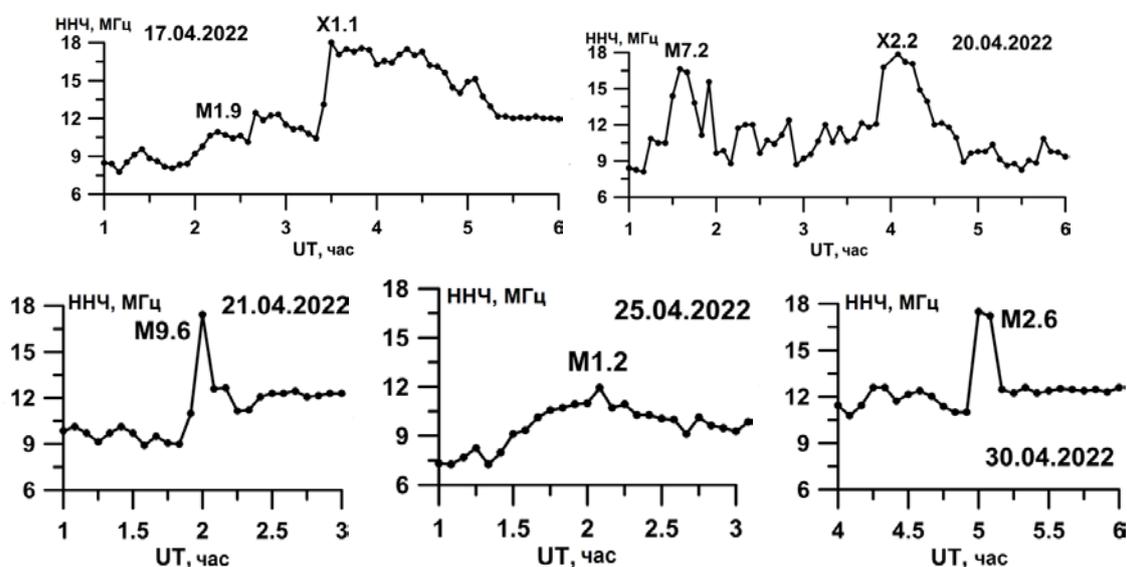


Рис. 2.2.2.8.1. Вариации ННЧ во время рентгеновских солнечных вспышек

Публикация:

Иванова В.А., Подлесный А.В., Поддельский А.И. Вариации наиминимумных частот во время рентгеновских солнечных вспышек классов М и Х в апреле 2022 г. // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: сборник докладов XXX Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Электрон. текстовые, граф. данные. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E158–E161. DOI: 10.56820/OAO30E24.

2.2.3. Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий

2.2.3.1. Анализ динамики тропосферного отклика на вариации электрического потенциала во время очень больших геомагнитных бурь 23-го солнечного цикла

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.А. Караханян, к.ф.-м.н. С.И. Молодых.

Изучено поведение тропосферного отклика на вариации электрического потенциала (ЭП) ионосферы во время двух мощных геомагнитных бурь 23-го цикла солнечной активности, близких по уровню геомагнитной возмущенности: буря с постепенным началом 15.07.2000 и буря с внезапным началом 20.11.2003. Показано, что во время бури 20.11.2003 минимальная задержка отклика метеопараметров на возрастание ЭП составляла 1–6 ч: осаджденной воды W_∞ — 1 ч, уходящей длинноволновой радиации (УДР) — 3 ч, верхней облачности Ci — 6 ч (рис. 2.2.3.1.1, а, б). Во время бури 15.07.2000 максимум тропосферного отклика был более значительно сдвинут по времени относительно максимума ЭП: увеличение W_∞ наблюдалось через 6 ч, уменьшение УДР — через 12 ч, увеличение Ci — через 18 ч (рис. 2.2.3.1.1, в, г). Обнаружено, что амплитуда отклика метеопараметров на вариации ЭП примерно вдвое меньше во время бури 15.07.2000, чем во время бури 20.11.2003.

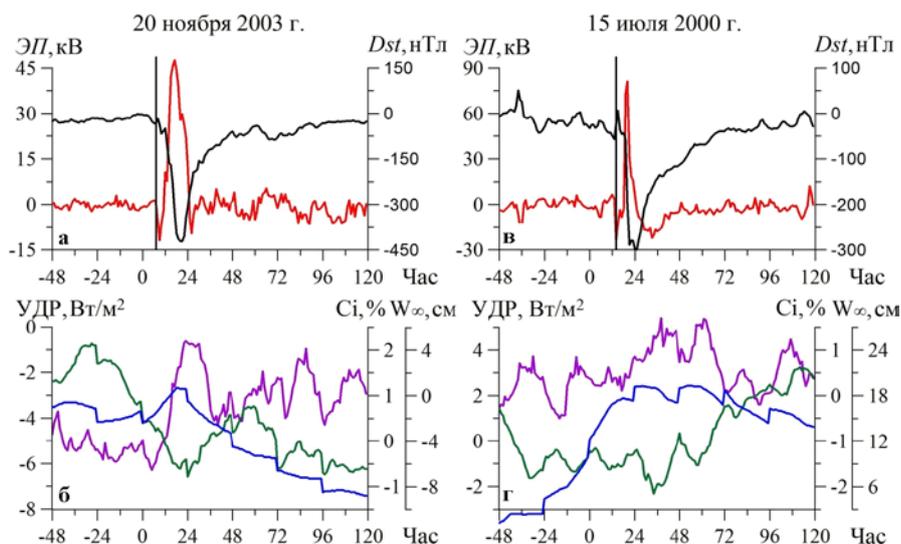


Рис. 2.2.3.1.1. Аномалии ЭП (красная линия), Dst -индекса (черная линия) (а, в) и метеопараметров (б, г): УДР (зеленая линия), облачность верхнего яруса (Ci , фиолетовая линия), осаджденная вода ($W_\infty \times 10^{-2}$, синяя линия) за 7-дневный интервал во время геомагнитных бурь 20 ноября 2003 г. и 15 июля 2000 г. Вертикальная линия — начало геомагнитной бури. Ноль по горизонтальной оси соответствует 00:00 UT дня начала геомагнитной бури

Публикация:

Караханян А.А., Молодых С.И. Отклик тропосферы на солнечное воздействие во время событий 15 июля 2000 года и 20 ноября 2003 года // XXX Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы», Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Сборник материалов. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2024. С. 1165–1168. DOI: 10.56820/OAO30E30.

2.2.3.2. Корреляционный анализ короткопериодной волновой активности в области мезопаузы и F2-слое ионосферы

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. И.В. Медведева, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. М.В. Толстиков.

Проведено исследование короткопериодной изменчивости с периодами внутренних гравитационных волн (ВГВ, периоды $T < 8$ ч) температуры области мезопаузы σT_m и максимума электронной концентрации $\sigma N_m F2$ по данным спектрометрических и радиофизических измерений в ИСЗФ СО РАН в 2013–2018 гг. Сезонный ход σT_m и $\sigma N_m F2$, усредненных по всем годам, показал их высокую корреляцию с максимумом в зимний период (рис. 2.2.3.2.1). При рассмотрении без усреднения согласованность вариаций заметно ухудшается, однако существуют отдельные интервалы, когда поведение σT_m и $\sigma N_m F2$ имеет согласованный характер. Значения коэффициентов скользящей корреляции σT_m и $\sigma N_m F2$ на 27-дневном интервале без сдвига являются низкими, близкими к нулю. Учет временного сдвига приводит к существенному росту корреляции (до ~ 0.5 – 0.6). Рост корреляции при временном сдвиге может быть объяснен тем, что ВГВ-активность модулируется планетарными волнами, распространяющимися снизу вверх, и задержки могут вызываться запаздыванием волны в ионосфере относительно мезосферы.



Рис. 2.2.3.2.1. Сезонный ход изменчивостей σT_m (красная линия) и максимума электронной концентрации $\sigma N_m F2$ (черная линия), усредненный по всем годам (2013–2018 гг.)

Публикации:

Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстиков М.В. Корреляционный анализ короткопериодной волновой активности в области мезопаузы и F2-слое ионосферы // XXX Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы», Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Сборник материалов. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2024. С. 1126–1130. DOI: 10.56820/OAO30E22.

Medvedeva I.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V. Correlation analysis of short-period wave activity in the mesopause region and F2 layer of the ionosphere // Atmospheric and Oceanic Optics. 2024. (принята в печать).

2.2.3.3. Сезонные вариации атмосферных примесей в Байкальском регионе по данным спутниковых наблюдений AURA MLS

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. И.В. Медведева, А.В. Татарников, к.ф.-м.н. И.К. Едемский, А.В. Саункин.

Проведено исследование сезонных вариаций концентраций атмосферных примесей CO и H₂O над Байкальским регионом. Для анализа использованы данные микроволнового радиометра MLS, установленного на спутнике Aura EOS, за период 2010–2021 гг. Анализировались данные для высотных уровней в диапазоне 215.4–10 гПа (~11–32 км) над населенными пунктами с. Хоринск (52.17° N, 109.77° E) и п. Жигалово (54.81° N, 105.15° E). В указанном высотном диапазоне спутниковые данные по концентрации CO представлены для 9 высотных уровней, значения концентрации H₂O — для 17 высотных уровней. Для временного интервала 2010–2020 гг. для каждого пункта получены усредненные по всем годам сезонные вариации концентраций анализируемых компонент для каждого высотного уровня отдельно для дневных и ночных условий (рис. 2.2.3.3.1). Сопоставление полученных результатов с поведением концентраций атмосферных примесей в 2021 г. выявило повышенное содержание CO для с. Хоринск в июле–августе, когда в анализируемом регионе наблюдалась повышенная задымленность от лесных пожаров (рис. 2.2.3.3.1, а, в).

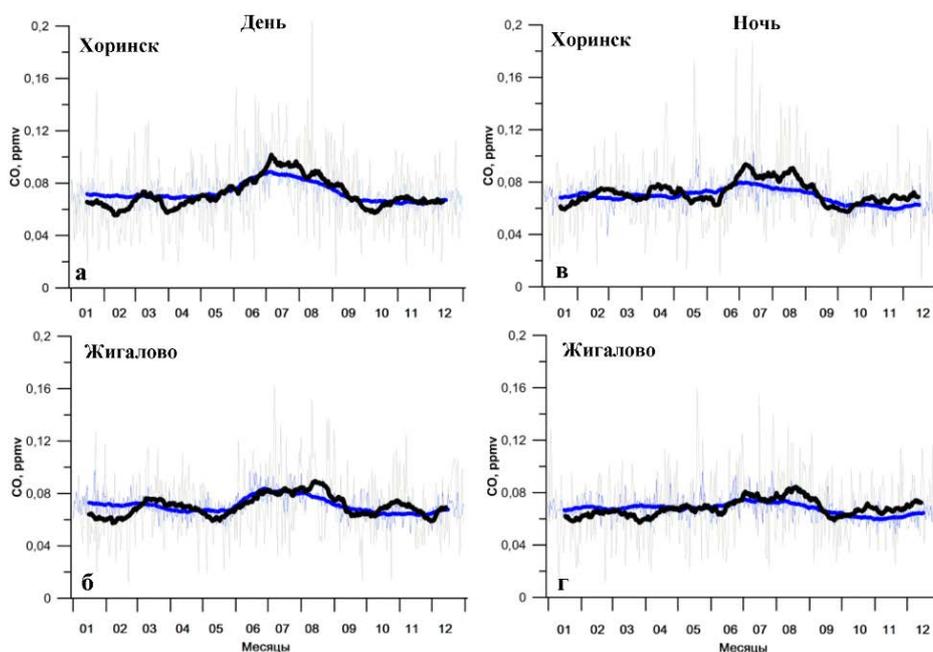


Рис. 2.2.3.3.1. Вариации концентрации CO на высотном уровне 215.4 гПа (~11 км) по данным дневных (а, б) и ночных (в, г) пролетов спутника над регионом с. Хоринск (а, в) и п. Жигалово (б, г): тонкие и толстые синие линии — усредненные для временного интервала 2010–2020 гг. и сглаженные по 31 дню скользящим средним соответственно; серые и черные линии — наблюдавшиеся в 2021 г. и сглаженные по 31 дню скользящим средним соответственно

Публикация:

Медведева И.В., Татарников А.В., Едемский И.К., Саункин А.В. Сезонные вариации атмосферных примесей в Байкальском регионе по данным спутниковых наблюдений Aura MLS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 2. С. 315–324. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-2-315-324.

2.2.3.4. Исследование межгодовых вариаций температуры мезопаузы и максимума электронной концентрации

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — акад. Г.А. Жеребцов, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. И.В. Медведева.

Проведено исследование межгодовых вариаций температуры области мезопаузы T_m и максимума электронной концентрации N_mF2 по многолетним (2008–2020 гг.) данным спектрометрических и радиофизических наблюдений на комплексе инструментов ИСЗФ СО РАН. В результате множественного регрессионного анализа обнаружено, что основной вклад в межгодовые вариации среднегодовых значений N_mF2 вносит солнечная активность, вклад геомагнитной активности пренебрежимо мал (рис. 2.2.3.4.1, *a*, *б*). Множественный регрессионный анализ среднегодовой температуры мезопаузы и индексов солнечной и геомагнитной активности ($F10.7$ и A_p) не выявил их значимой корреляции. Наилучший коэффициент детерминации (18.1 %) дала множественная регрессия среднегодовых значений T_m с индексом Южной осцилляции SOI и индексом $F10.7$ (рис. 2.2.3.4.1, *в*). Низкие коэффициенты детерминации связаны с поведением среднегодовой T_m в 2009–2011 гг.: ни один из индексов не воспроизводит резкого роста в 2009–2010 гг. и резкого падения в 2010–2011 гг. Возможной причиной значительных изменений среднегодовой T_m в 2009–2011 гг. может быть холодная фаза Ла-Нинья и очень высокие значения SOI .

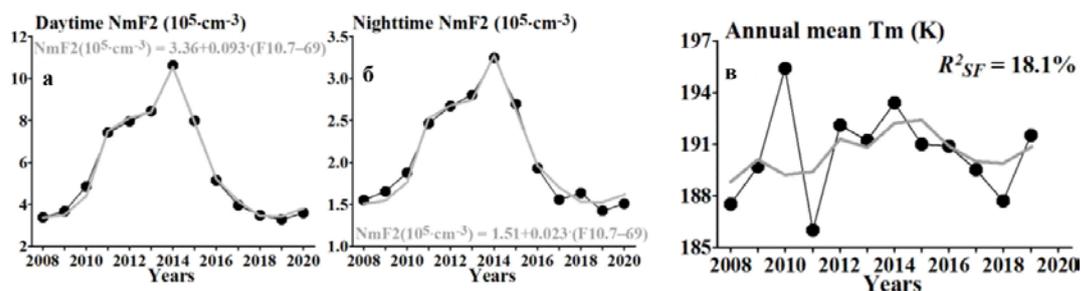


Рис. 2.2.3.4.1. Вариации от года к году среднегодовых значений N_mF2 (черные кружки) с наложенными результатами линейной регрессии на среднегодовые значения $F10.7$ (серая линия) для дневных (*a*) и ночных (*б*) условий. Вариации усредненных за год значений T_m (черная линия, кружки) и их аппроксимация при помощи множественной регрессии на SOI и $F10.7$ (серая линия) (*в*)

Публикация:

Жеребцов Г.А., Ратовский К.Г., Медведева И.В. Долговременные вариации максимума электронной концентрации и температуры области мезопаузы: зависимости от солнечной, геомагнитной и атмосферной активности, долговременные тренды // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 5–16. DOI: 10.12737/szf-104202401.

2.2.3.5. Комплексное исследование динамики средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария в спокойных и возмущенных условиях на основе анализа данных мультиинструментальных наблюдений

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская¹, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, акад. Г.А. Жеребцов¹, А.Г. Сетов¹, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев¹, к.ф.-м.н. А.С. Калишин², д.ф.-м.н. А.Е. Степанов³, к.ф.-м.н. А.Ю. Белинская⁴, к.ф.-м.н. В.В. Бычков⁵, С.А. Григорьева⁶, к.ф.-м.н. В.А. Панченко⁷.

¹ИСЗФ СО РАН, Иркутск; ²ААНИИ, Санкт-Петербург; ³ИКФИА СО РАН, Якутск; ⁴ИНГГ СО РАН, Новосибирск; ⁵ИКИР ДВО РАН, Паратунка; ⁶ИГ УрО РАН, Екатеринбург; ⁷ИЗМИРАН, Москва

По данным высоко- и среднеширотных цепей ионозондов проанализированы вариации параметров ионосферы (f_oF2 , f_oEs , f_{min}) над Евразией в период экстремальной ($Dst = -223$ нТл) геомагнитной бури в марте 2015 г. Реакцию на бурю отличала смена положительного ионосферного возмущения сразу после внезапного начала бури на отрицательное возмущение на главной фазе бури (рис. 2.2.3.5.1, *a*, *б*). Особенно ярко смена проявилась на средних широтах. На главной и восстановительной фазах бури на всех широтах наблюда-

лись периоды блэкаутов радиосигналов, в которые отмечался существенный рост поглощения радиоволн (рост f_{\min} , рис. 2.2.3.5.1, δ , e) и частоты появления экранирующих спорадических слоев Es. Длительная отрицательная ионосферная буря в высоких и средних широтах Европы (рис. 2.2.3.5.1, a , δ) объясняется перемещением области пониженного отношения $[O]/[N_2]$ (рис. 2.2.3.5.1, ν , ζ). Выявлен эффект последействия, проявившийся в повышенной ионизации F2-области ионосферы (рис. 2.2.3.5.1, a , δ) над обширным регионом Восточной, Западной Сибири и Восточной Европы после завершения магнитной бури.

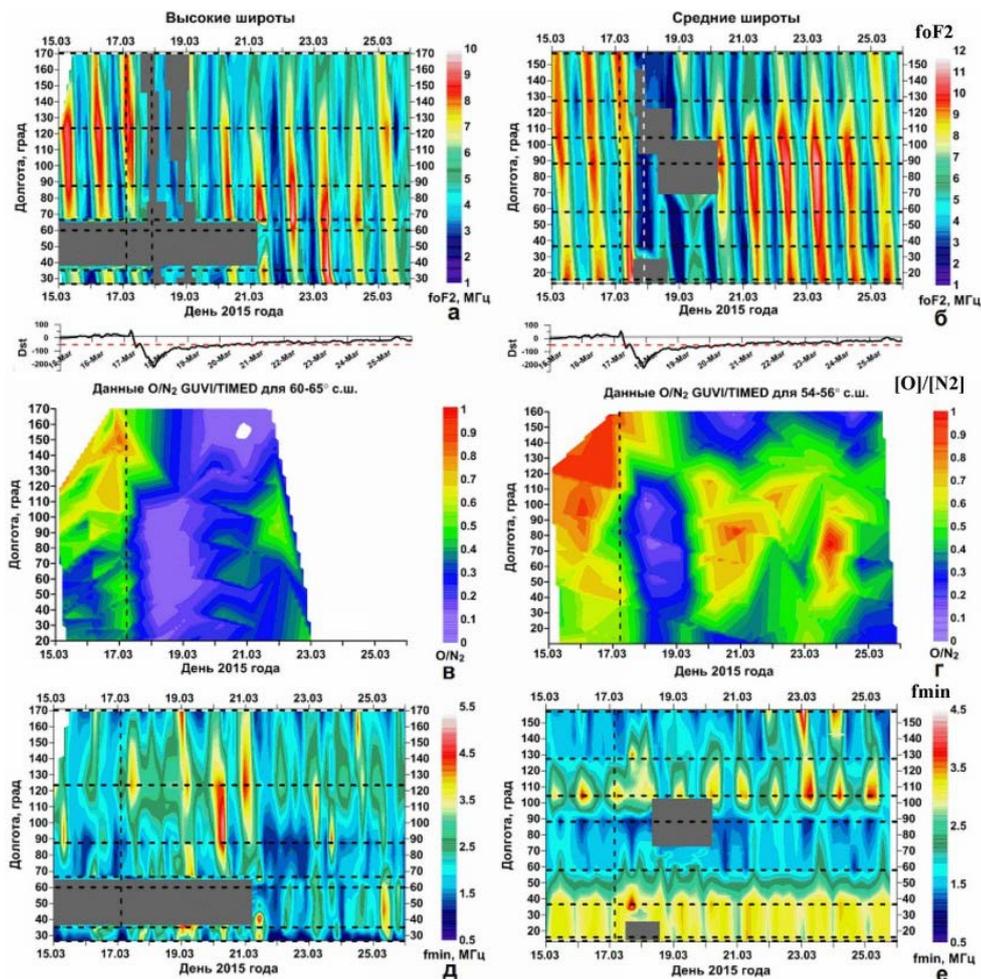


Рис. 2.2.3.5.1. Долготно-временные вариации параметров f_oF2 и f_{\min} по данным высоко- (a , δ) и среднеширотной (δ , e) евразийских цепей ионозондов; долготно-временные распределения $[O]/[N_2]$ по измерениям GUVI/TIMED для высоких (ν) и средних (ζ) широт в марте 2015 г.

Публикация:

Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Жеребцов Г.А., Сетов А.Г., Хабитуев Д.С., Калишин А.С., Степанов А.Е., Белинская А.Ю., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А. Отклик ионосферы над регионами высоких и средних широт Евразии по данным ионозондов во время экстремальной магнитной бури в марте 2015 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 51–64. DOI: 10.12737/szf-104202406.

2.2.3.6. Оценка электронного содержания плазмосферы и высоты перехода O^+/H^+ во время геомагнитной бури в феврале 2022 г. по данным Иркутского радара HP

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев, акад. Г.А. Жеребцов, В.А. Ивонин, к.ф.-м.н. В.П. Лебедев.

Проведено исследование возможности расширения диагностического потенциала Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) до больших высот при комбинировании данных ИРНР с данными глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) по полному электронному содержанию (ПЭС). Исследованы особенности восстановления по измерениям ИРНР профиля электронной концентрации N_e во внешней ионосфере с помощью различных моделей. Проведена адаптация к новым данным ИРНР метода Шпынева — Хабитуева, который был разработан ранее для оценки высоты перехода от ионов O^+ к ионам H^+ (высота перехода O^+/H^+ , h_T). Данную высоту можно считать верхней границей ионосферы и нижней границей плазмосферы. Метод основан на технологии сшивки профиля N_e , полученного на ИРНР, с данными ПЭС ГНСС. С помощью адаптированного метода получены оценки h_T , а также электронного содержания ионосферы и плазмосферы во время геомагнитной бури 03.02.2022 (рис. 2.2.3.6.1). Показано, что после главной фазы бури в вариациях этих параметров возникают колебания большой амплитуды, что может приводить к падению электронного содержания выше h_T до нулевых значений.

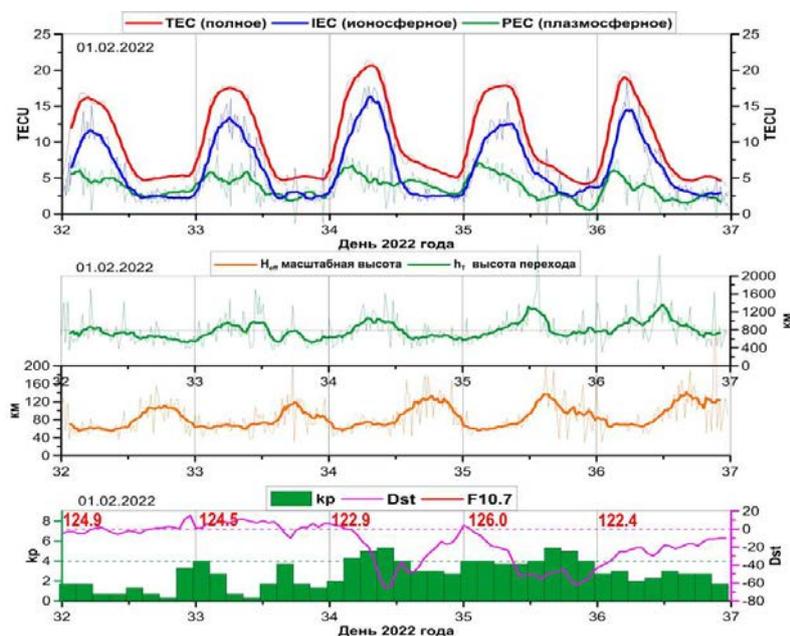


Рис. 2.2.3.6.1. Динамика электронного содержания плазмосферы и ионосферы (верхняя панель), а также высоты h_T перехода O^+/H^+ и масштабной высоты h_{eff} 1–5 февраля 2022 г.

Публикация:

Хабитуев Д.С., Жеребцов Г.А., Ивонин В.А., Лебедев В.П. Оценка электронного содержания плазмосферы и высоты перехода O^+/H^+ во время геомагнитной бури в феврале 2022 г. по данным Иркутского радара ИРНР // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 31–40. DOI: 10.12737/szf-104202404.

2.2.3.7. Скорости ионосферных возмущений, вызванных извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий», руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — М.А. Болсуновский¹, к.г.-м.н. Н.В. Шестаков^{2,3}, Г.И. Долгих¹, д.ф.-м.н. Н.П. Первалова⁴, А.С. Тен⁵.

¹ТОИ ДВО РАН; ²ДВГУ; ³ИПМ ДВО РАН; ⁴ИСЗФ СО РАН; ⁵ВЦ ДВО РАН

Выполнен анализ скоростей ионосферных возмущений, вызванных извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15.01.2022, в ближней и дальней зонах от вулкана. Использовались данные станций ГНСС международной сети IGS и локальных сетей, рас-

положенных в Приморском крае. Показано, что на расстояниях до 2500–3000 км от вулкана на средние скорости возмущений составляли ~720–950 м/с (возмущения 1–4 на рис. 2.2.3.7.1). На дальностях 2500–3000 км ионосферные возмущения разделились на две моды. Первая распространялась до расстояний 7000–8000 км со скоростью ~630 м/с (возмущения 5, 6 на рис. 2.2.3.7.1). Вторая мода распространялась значительно дальше и была зафиксирована над территорией Приморского края (возмущения 7–10 на рис. 2.2.3.7.1). Ее скорость составила ~340 м/с. Сравнение данных ГНСС с данными нанобарографа и двух деформографов в Приморском крае показало, что вызванные извержением возмущения в ионосфере регистрируются на ~50 мин раньше, чем инициированные тем же извержением волны в тропосфере.

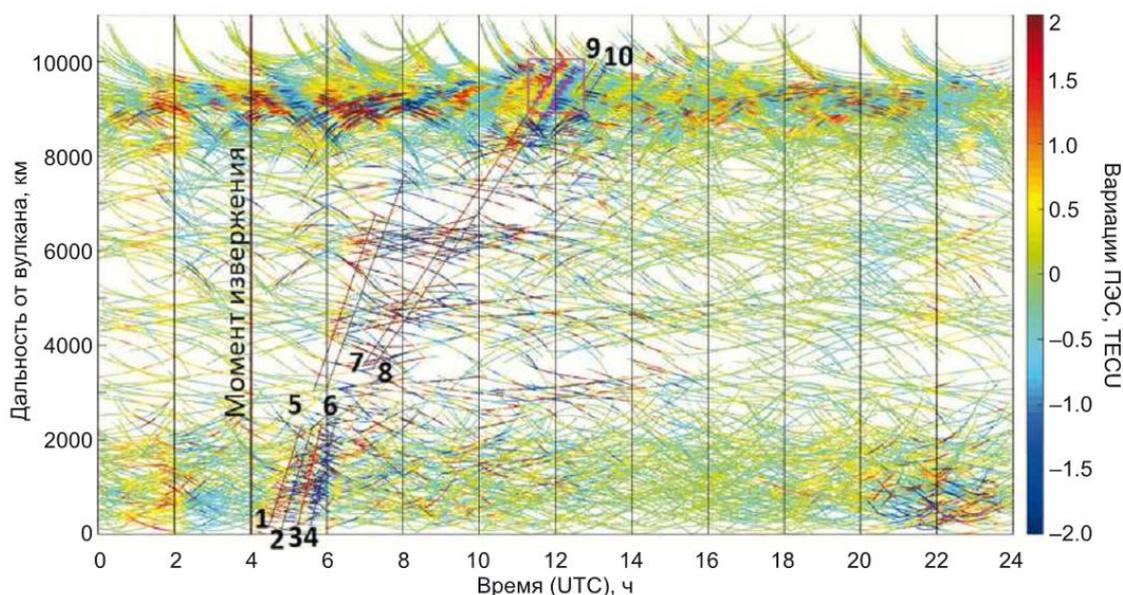


Рис. 2.2.3.7.1. Отфильтрованные в диапазоне 10–60 мин возмущения ПЭС, вызванные извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г. Прямыми линиями и цифрами обозначены волновые фронты ионосферных возмущений, распространявшихся с разными скоростями

Публикация:

Болсуновский М.А., Шестаков Н.В., Долгих Г.И., Первалова Н.П., Тен А.С. Ионосферные возмущения над Приморским краем, вызванные извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г. // Геодинамика и тектонофизика. 2024. Т. 15, № 1, 0738. 16 с. DOI: 10.5800/GT-2024-15-1-0738.

2.2.3.8. Количественная оценка влияния изменения температуры нейтральной атмосферы на концентрацию электронов в ионосфере

Проект РНФ № 22-17-00146 «Экспериментальное и теоретическое исследование взаимодействия нейтральной и ионизованной компонент атмосферы Земли». Руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — акад. Г.А. Жеребцов, д.ф.-м.н. А.В. Тащилин, д.ф.-м.н. Н.П. Первалова, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. И.В. Медведева.

На основе модифицированной численной модели ионосферы и плазмосферы, разработанной в ИСЗФ СО РАН, выполнена количественная оценка влияния изменения температуры нейтральной атмосферы T на концентрацию электронов N_e в ионосфере. С этой целью рассчитаны высотные профили N_e при спокойном ($\Delta T=0$) и возмущенном ($\Delta T \neq 0$) состоянии термосферы для условий 25.01.2009 в г. Иркутске. Возмущенные условия задавались варьированием температуры нейтральных частиц T в термосфере. Установлено, что изменение T на 1 К приводит к изменению N_e на 0.2–0.3 %. Характер изменения N_e (увеличение или уменьшение) может быть различным на разных высотах и определяется

физико-химическими процессами, доминирующими на данной высоте. В области F (высоты 180–250 км) с ростом/уменьшением T происходит уменьшение/увеличение N_e (рис. 2.2.3.8.1, *а, б*), что связано с определяющим влиянием на N_e отношения концентраций $[O]/[N_2]$ (рис. 2.2.3.8.1, *в, г*). На высотах ниже 180 км и выше 250 км рост/уменьшение T вызывает увеличение/уменьшение N_e , поскольку в этих областях влияние отношения $[O]/[N_2]$ на N_e незначительно.

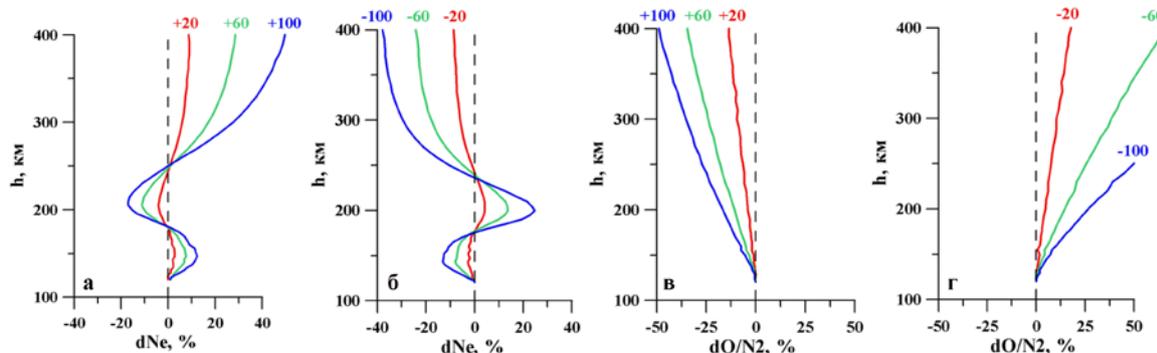


Рис. 2.2.3.8.1. Относительные отклонения N_e (*а, б*) и отношения $[O]/[N_2]$ (*в, г*) от спокойного состояния ($\Delta T=0$) при увеличении ($\Delta T = +20, +60, +100$ K) (*а, в*) и уменьшении ($\Delta T = -20, -60, -100$ K) (*б, г*) температуры T для условий 25.01.2009 в г. Иркутске

Публикация:

Zherebtsov G.A., Tashchilin A.V., Perevalova N.P., Ratovsky K.G., Medvedeva I.V. Modeling the influence of changes in the parameters of a neutral atmosphere on the ionospheric electron density // *Doklady Earth Sciences*. 2024. Vol. 517. P. 1371–1376. DOI: 10.1134/S1028334X2460227X.

2.2.4. Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике

2.2.4.1. База данных наблюдений трех компонент геомагнитного и двух компонент электротеллурического полей Земли на территории Тункинской долины

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — к.г.-м.н. И.К. Семинский.

Впервые получена геоэлектрическая модель Тункинской рифтовой долины до глубин 70 км, характеризующаяся четырьмя основными слоями, ассоциируемыми с осадочным заполнением рифтовых впадин, кристаллическими породами фундамента, литосферным проводником и частично расплавленными породами земной коры и верхней мантии (см. рис. 2.2.4.1.1).

На основании интерпретации данных магнитотеллурического зондирования, а также сопоставления результатов, полученных для районов проявления термальных вод (Аршан, Жемчуг, Нилова Пустынь), выделена перспективная область (в районе поселка Тибельти на востоке Тункинской долины), где может быть рекомендовано проведение поисково-разведочных работ на минеральные подземные воды. Отмечается, что обнаружение новой области с геотермальным флюидом может иметь положительное экономическое значение для исследуемого региона, выражающееся в привлечении средств и развитии туристической и лечебной инфраструктуры района.

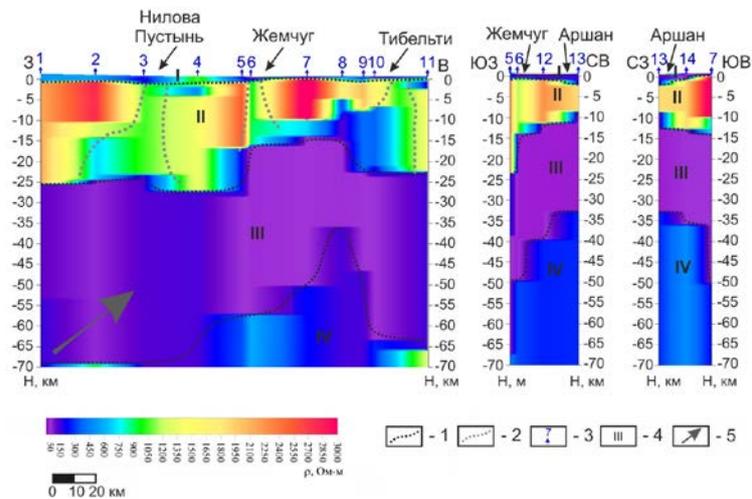


Рис. 2.2.4.1.1. Геоэлектрические разрезы по данным МТЗ: 1 — границы основных геоэлектрических слоев; 2 — границы зон, ассоциируемых с каналами флюидомиграции; 3 — физические наблюдения МТЗ и их номера; 4 — геоэлектрические слои; 5 — направление разогревающего воздействия от верхнемантийного плюма

Публикации:

Семянский И.К., Кувшинов А.В., Агафонов Ю.А. Глубинное геоэлектрическое строение центральной части Байкальского рифта по новейшим данным МТЗ // IX Международный симпозиум «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». г. Бишкек, 24–28 июня 2024 г.

Куклина Ф.Р., Семянский И.К., Немцева Д.Б., Гомульский В.В., Давыденко С.А., Шарлов М.В., Агафонов Ю.А. Новейший российский аппаратно-программный комплекс для магнитотеллурических зондирований «SMT-32» // Приборы и системы разведочной геофизики. 2024. № 1. С. 45–51.

2.2.4.2. Методика совместного моделирования пространственно-временной структуры вариаций магнитного поля ионосферного и магнитосферного происхождения

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — д.ф.-м.н. А.В. Кувшинов (Institute of Geophysics, ETH Zürich, Zürich, Switzerland; ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; МГУ, Москва, Россия).

Разработана методика совместного моделирования пространственно-временной структуры вариаций магнитного поля ионосферного и магнитосферного происхождения.

Построение реалистичных моделей пространственно-временной структуры магнитосферных и/или ионосферных токовых систем имеет решающее значение для успешного выполнения глубинного магнитовариационного зондирования Земли. Такие модели традиционно строятся на основе анализа вариаций магнитного поля, наблюдаемых на глобальной сети геомагнитных обсерваторий. В последние два десятилетия построение таких моделей также включает анализ данных спутниковых геомагнитных миссий, таких как CHAMP и Swarm.

В 2024 г. были проведены работы по дальнейшему развитию методологии, которая позволяет осуществлять совместное моделирование магнитных полей от всех источников, обсуждавшихся выше, непосредственно во временной области. Методология разрабатывается для анализа как обсерваторских, так и спутниковых данных. Сравнение смоделированных и наблюдаемых временных рядов в высокоширотной обсерватории Туле представлено на рис. 2.2.4.2.1.

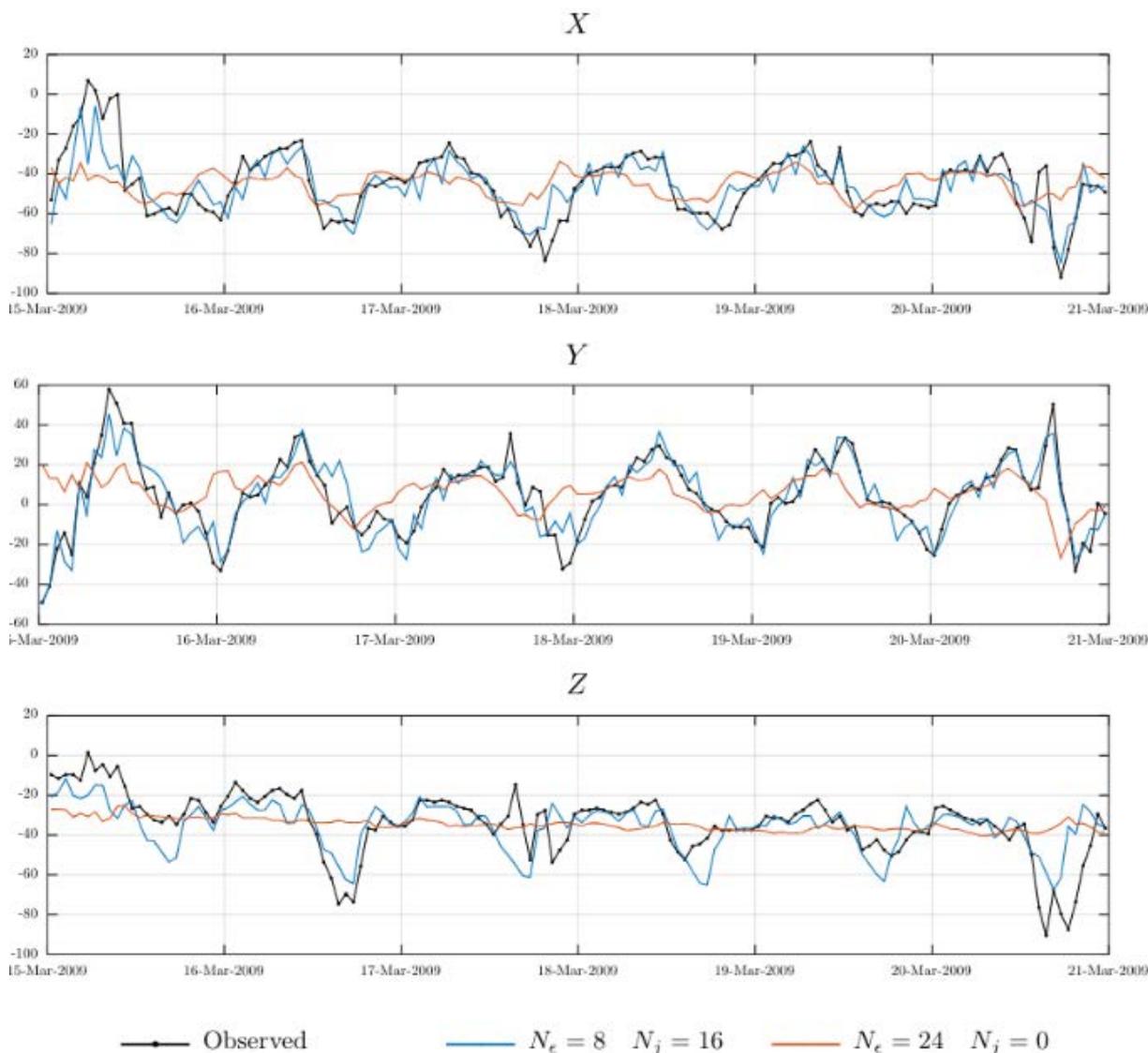


Рис. 2.2.4.2.1. Сравнение временных рядов, смоделированных и наблюдаемых в высокоширотной обсерватории Туле (ТНЛ), Гренландия, для шести спокойных дней 15–20 марта 2009 г. (сверху вниз): компоненты X , Y и Z

Публикация:

Kruglyakov M., Kuvshinov A. Joint time-domain modelling magnetic field variations of ionospheric and magnetospheric origin. A concept and implementation to ground-based data // ESS Open Archive. 2024. DOI: 10.22541/essoar.172222552.23099176/v1.

2.2.4.3. Влияние Эль-Ниньо на параметры атмосферы над Восточной Сибирью по данным реанализа и моделирования в зимний период

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева.

Одним из наиболее важных климатообразующих явлений в системе океан — атмосфера является Эль-Ниньо — Южное колебание (ЭНЮК), проявляющееся с разной интенсивностью практически во всех регионах земного шара. Центральные районы Евразии наиболее удалены от тропиков Тихого океана — областей зарождения ЭНЮК. Существуют разные точки зрения относительно характера влияния ЭНЮК на эти регионы. В работе

по модельным расчетам и данным реанализа оценивается влияние ЭНЮК на верхнюю атмосферу Северного полушария и, в частности, на верхнюю атмосферу Восточной Сибири.

Результаты анализа показали (рис. 2.2.4.3.1), что крупномасштабные структуры отклика атмосферы на ЭНЮК в Северном полушарии по данным моделирования и реанализа схожи, однако районы Восточной Сибири находятся на периферии основного сигнала, где наблюдаются значительные различия в оценках эффектов Эль-Ниньо и Ла-Нинья от одного случая к другому. В январе наибольшее влияние ЭНЮК оказывает на среднюю атмосферу полярных регионов Северного полушария. Над Евразией и Восточной Сибирью отклик атмосферы на ЭНЮК оказался слабым или отсутствовал.

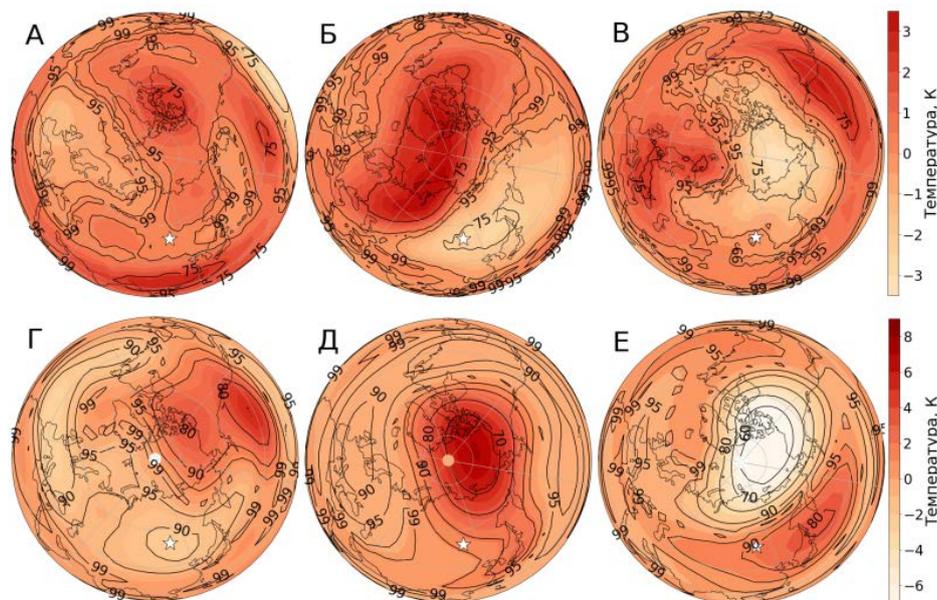


Рис. 2.2.4.3.1. Пространственное распределение ΔT по данным ERA5 (а–в) и MCBA (г–е) на уровнях 15, 30, 55 км соответственно (заливка); распределение статистической значимости ΔT по t -критерию Стьюдента (изолинии)

Публикация:

Вяткин А.Н., Зоркальцева О.С., Мордвинов В.И. Влияние Эль-Ниньо на параметры средней и верхней атмосферы над Восточной Сибирью по данным реанализа и моделирования в зимний период // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 1 С. 44–52. DOI:10.12737/szf-101202406.

2.2.4.4. Опрокидывание волн Россби в стратосфере

Грант РФФ №22-77-10008. Руководитель — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева. Автор результата — к.ф.-м.н. О.Ю. Антохина (ИОА СО РАН).

(ИСЗФ СО РАН; Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия; Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Новосибирск, Россия; Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия).

На основании разработанного и адаптированного к условиям циркуляции в стратосфере метода идентификации опрокидываний волн Россби (ОВР) анализируются условия возникновения главных внезапных стратосферных потеплений (ВСП) в Северном полушарии. В основе метода лежит анализ геометрии контуров потенциальной завихренности в стратосфере (850 К) по данным ERA5. Показано, что аномальные процессы ОВР в ноябре и декабре являются важным подготовительным этапом к возникновению ВСП. Большая часть анализируемых в работе событий ВСП связана с аномалиями количества опро-

кидываний в Азиатско-Тихоокеанском (АТ) регионе в ноябре и декабре и иногда в январе. Остальным событиям также предшествуют периоды аномального опрокидывания волн над регионом АТ, однако начало событий связано с опрокидываниями над Атлантикой и Европой. Для рассматриваемых типов опрокидывания волн в стратосфере характерна ситуация по типу блокирования с выраженными отрицательными откликами приземной температуры над Евразией и/или Северной Америкой в тропосфере. Таким образом, увеличение количества ранних главных событий ВСП согласуется с обнаруженной ранее закономерностью усиления отрицательного отклика приземной температуры на появление атмосферного блокирования в СП.

Публикация:

Антохина О.Ю., Гочаков А.В., Зоркальцева О.С., Антохин П.Н., Крупчатников В.Н. Опрокидывание волн Россби в стратосфере. Часть I. Климатология и долговременная изменчивость. // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т. 37, № 5. С. 415–422. DOI: 10.15372/AOO20240509.

2.2.4.5. Особенности вертикального распределения температуры над г. Томском во время внезапного стратосферного потепления

Грант РФФИ №22-77-10008. Руководитель — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева. Автор результата — к.ф.-м.н. О.Ю. Антохина (ИОА СО РАН).

Наблюдающиеся над территорией Сибири аномалии атмосферной температуры, связанные с внезапными стратосферными потеплениями, требуют детального изучения. На территории Сибири мало инструментов, которые способны предоставить необходимую информацию о вертикальном распределении температуры атмосферы. Уникальное оборудование Сибирской лидарной станции (СЛС) Института оптики атмосферы им В.Е. Зуева СО РАН (Томск, Россия, 56.48 с.ш. 85.05 в.д.), разработанное для регулярных лидарных измерений атмосферных параметров — один из немногих наземных приборов на территории Сибири, который позволяет получить необходимые данные о вертикальной стратификации температуры атмосферы при ВСП. Для определения характеристик температурных аномалий атмосферы в период ВСП зимой 2023 г. над Томском было проведено сравнение данных о температуре атмосферы в отдельные ночи, полученных лидаром СЛС, моделью WACCM, среднеширотной зимней стандартной моделью и реанализом ERA5. Впервые показана возможность использования вертикальных профилей температуры атмосферы, полученных методом спонтанного комбинационного рассеяния (СКР) для изучения эффекта ВСП. Продемонстрирована возможность использования лидарных профилей температуры воздуха для анализа изменения вертикальной структуры атмосферы в период внезапных стратосферных потеплений.

Публикация:

Антохина О.Ю., Бобровников С.М., Жарков В.И., Зоркальцева О.С., Трифанов Д.А. Особенности вертикального распределения температуры над г. Томском во время внезапного стратосферного потепления 2023 г. по данным Сибирской лидарной станции // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т. 37, № 11. С. 947–953. DOI: 10.15372/AOO202411.

2.2.4.6. Зависимость нормальных мод баротропного уравнения вихря от структуры среднего течения и параметров численного моделирования

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — к.ф.-м.н. В.И. Мордвинов.

Выполнены численные расчеты нормальных мод в баротропной квазигеострофической модели течения, обусловленного суперпозицией циклонического и антициклонического вихрей, с целью изучения на этом уровне нормальных мод и попытки интерпретации крутильных колебаний. Метод нормальных мод позволяет в линейном приближении оценить пороги возникновения неустойчивости в зависимости от структуры среднего течения и может быть использован для интерпретации наблюдаемых в атмосфере колебаний. Была выполнена оценка зависимости нормальных мод от среднего потока и оценка зависимости нормальных мод от параметров экспериментов.

Поведение инкрементов наиболее быстро растущих нормальных мод в зависимости от внешних условий оказалось достаточно простым. Неустойчивость течения в эксперименте всегда возрастает с увеличением амплитуды антициклона, но в разной степени при разных параметризациях вязкости и разном количестве сферических гармоник в разложении полей возмущений функции тока.

Более сложной задачей оказалась оценка изменений пространственной структуры нормальных мод в зависимости от изменений среднего потока и параметров численного эксперимента (рис. 2.2.4.6.1). Довольно часто среди наиболее быстро растущих нормальных мод появляются осесимметричные колебания, однако они сильно различаются по меридиональной структуре, периодам и инкрементам. Кроме того, они не обеспечивают меридиональное распространение возмущений, что характерно для крутильных колебаний. В этом отношении проведенные численные эксперименты не дали каких-либо убедительных подтверждений в пользу гипотезы о крутильных колебаниях как собственных колебаниях атмосферы в случае среднего потока, обусловленного суперпозицией течений полярный циклон + антициклон.

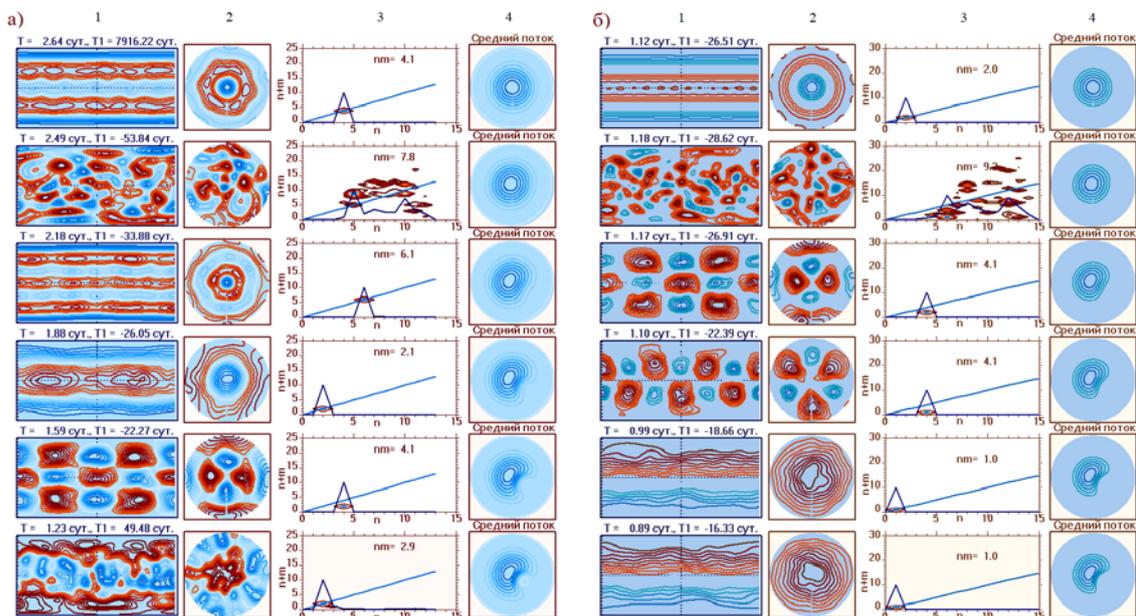


Рис. 2.2.4.6.1. Наиболее неустойчивые нормальные моды при разных конфигурациях среднего течения, для 13 (а) и 15 (б) гармоник в разложении полей при обычной турбулентной вязкости. Приведены (слева направо) функции тока нормальных мод в горизонтальной и полярных проекциях, спектры нормальных мод в координатах n (ось X) и $n+m$ (ось Y) и распределения функции тока среднего течения в полярной проекции в относительных единицах

Публикация:

Мордвинов В.И., Девятова Е.В., Томозов В.М. Зависимость нормальных мод баротропного уравнения вихря от структуры среднего течения и параметров численного моделирования // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 22–30. DOI: 10.12737/szf-104202403.

2.2.4.7. Результаты наблюдения акустических волн от сильного извержения вулкана Хунга-Тонга

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — к.ф.-м.н. А.Г. Сорокин.

Представлены результаты наблюдения акустических волн от сильного извержения вулкана Хунга-Тонга, произошедшего в юго-западной части Тихого океана 15 января 2022 г.

Зарегистрированный акустический сигнал имеет сложную структуру, аналогичную волновой структуре сигналов от мощных ядерных взрывов, падения Тунгусского метеорита, а также акустических сигналов от извержения вулкана Хунга-Тонга, представленных в работах других авторов. Подобная форма сигнала интерпретируется как результат суперпозиции волн Лэмба, инфразвука и ВГВ.

Выявлена характерная временная последовательность трех цугов в головной части сигнала (волна Лэмба). Эта последовательность связывается с тремя стадиями извержения: 1) сильный взрыв и разрушение о-ва Хунга-Тонга; 2) выход на поверхность воды раскаленной магмы и образование большого количества перегретого пара, пульсирующего в атмосфере; 3) подъем в атмосферу высотной эруптивной колонны, которая может быть источником низкочастотного акустического излучения.

Проведено сравнение акустических сигналов от извержения вулкана Хунга-Тонга, записанных в Восточной Сибири и на Аляске, и получены оценки средней скорости распространения сигналов на этих трассах. Регистрация акустического сигнала от мощного извержения вулкана Хунга-Тонга в различных точках Земли свидетельствует о глобальном характере распространения сигналов.

Публикация:

Сорокин А.Г., Добрынин В.А. Некоторые результаты анализа атмосферных колебаний по данным акустической станции ИСЗФ СО РАН // Сборник трудов XXXV сессии Российского акустического общества. М.: ГЕОС, 2024. С. 298–303. DOI: 10.34756/GEOS.2024.17.38817.

2.2.4.8. Изучение низкочастотного атмосферного излучения, основанное на данных акустической станции ИСЗФ СО РАН

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — к.ф.-м.н. А.Г. Сорокин.

Разработан метод анализа состояния динамической ветровой ситуации и термодинамического поля атмосферы на уровне поверхности земли. В первом случае отслеживается влияние ветра на механическую устойчивость состояния атмосферы, а во втором случае по состоянию температуры можно оценить влияние теплового фактора на термодинамическую устойчивость атмосферы. Таким образом, можно раздельно исследовать как фактор импульсного механического воздействия на устойчивость атмосферы, так и фактор термодинамического влияния на «раскачку» конвективных колебаний в атмосфере. Признаками различных механизмов возбуждения колебаний могут быть динамические характеристики спектров сигналов и другие характеристики, которые необходимо изучать в перспективе (рис. 2.2.4.8.1). Для выяснения причин возбуждения и особенностей структуры колебаний в атмосфере данной местности также следует использовать известную в природе и описанную в литературе конвективную неустойчивость гравитационно-теплового типа.

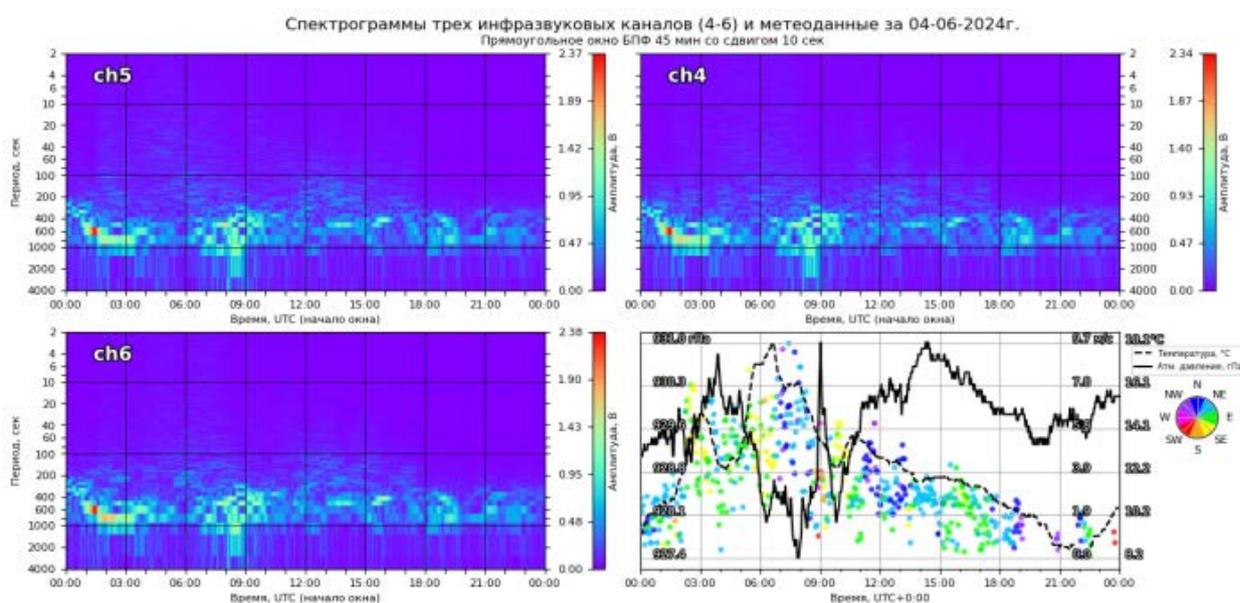
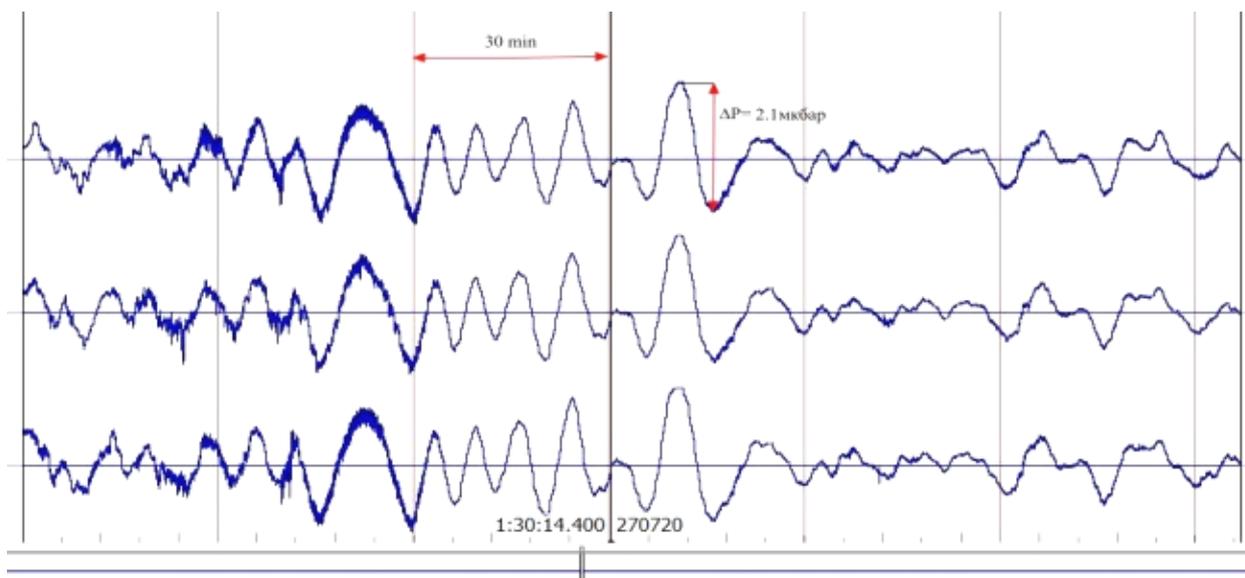


Рис. 2.2.4.8.1. Характерные для летнего периода атмосферные колебания за 04.06.2024 и их спектрограмма

Публикация:

Сорокин А.Г., Добрынин В.А. Некоторые результаты анализа атмосферных колебаний по данным акустической станции ИСЗФ СО РАН // Сборник трудов XXXV сессии Российского акустического общества. М.: ГЕОС, 2024. С. 298–303. DOI: 10.34756/GEOS.2024.17.38817.

2.2.4.9. Исследование влияния внезапных стратосферных потеплений на вариации эмиссионного слоя 557.7 нм

Грант РФФ №22-77-10008. Руководитель — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева. Автор результата — А.В. Саункин.

Наблюдается схожее поведение аномалий температур над двумя станциями. Видно, что до ВСП на высотах ~40–50 км температура повышается, при этом на высотах ~60–70 км происходит снижение температуры. После ВСП на высотах ~40–60 км температура заметно понижается (~40–50 км над станцией Торы), в то время как на высотах ~60–80 км наблюдается обратный эффект. Стратосферные потепления часто начинаются над Сибирью, а затем смещаются в северо-восточном направлении к полюсу и вызывают деформа-

цию полярного вихря, которая фиксируется как ВСП. На рис. 2.2.4.9.1 видна положительная аномалия температуры в стратосфере над обсерваториями от –15 до –3 дня до мажорного ВСП, при этом в области мезосферы наблюдаются отрицательные аномалии температуры. За 3–5 дней до момента максимального развития ВСП над сибирскими обсерваториями на стратосферных высотах знак температурной аномалии изменяется, что связано с перемещением стратосферного антициклона в более высокие широты. При этом на мезосферных уровнях наблюдаются максимальные температуры.

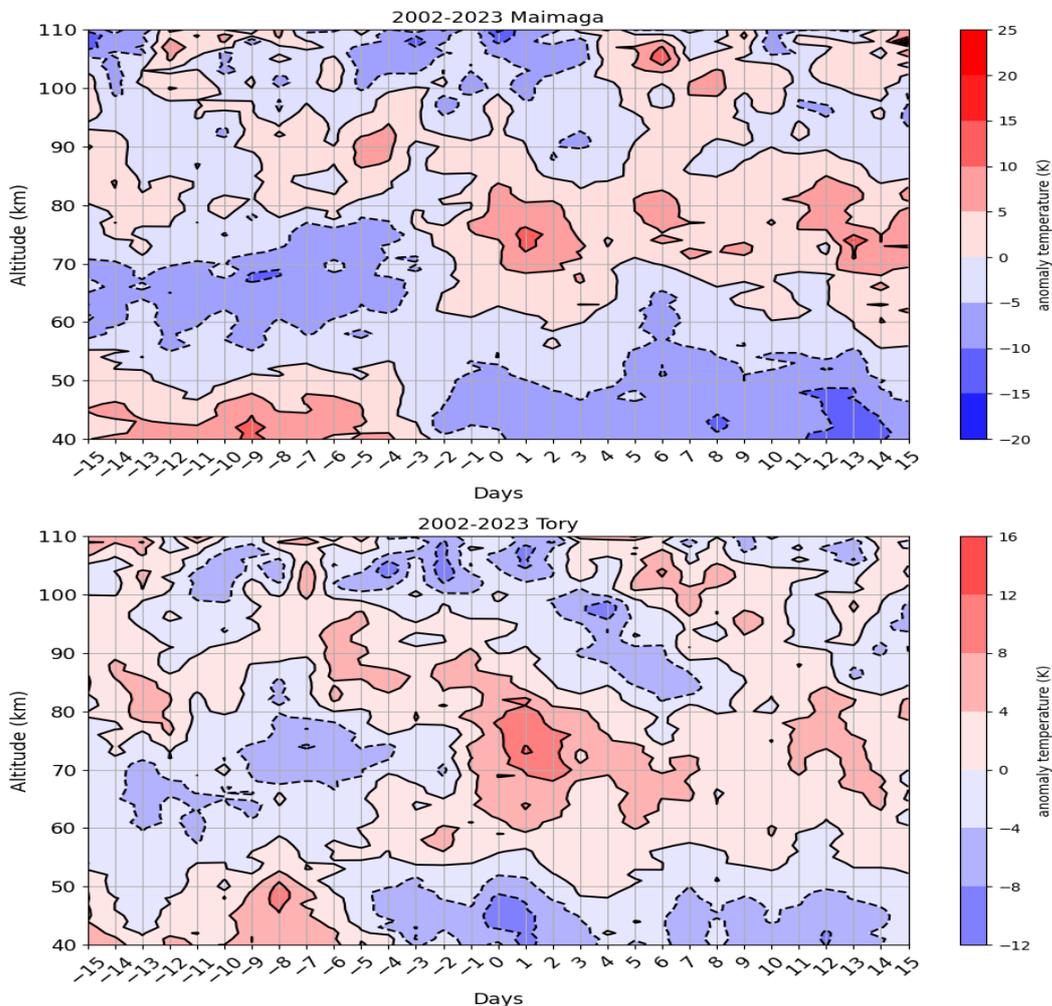


Рис. 2.2.4.9.1. Средние аномалии температуры в 2002–2023 гг. над ст. Маймага (вверху) и над ГФО (Торы, внизу) по данным SABER

Публикации:

Саункин А.В., Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Гаврильева Г.А. Исследование влияния внезапных стратосферных потеплений на вариации эмиссионного слоя 557.7 нм над обсерваториями Маймага и Торы // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2024. С. E192–E198.

Саункин А.В., Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Гаврильева Г.А. Исследование влияния внезапных стратосферных потеплений на вариации эмиссионного слоя 557.7 нм над обсерваториями Маймага и Торы // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды XVIII Конференции молодых ученых. 2024. С. 204–208. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-204.

2.2.4.10. Исследование пространственно-временных характеристик среднеширотных сияний

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — к.ф.-м.н. Т.Е. Сыренова.

Среднеширотное сияние 01 декабря 2023 г. наблюдалось с помощью камер всего неба оптического комплекса НГК и любителями астрономии с помощью цифровых фотоаппаратов и смартфонов в нескольких точках Иркутской области и Приморского края. Был проведен совместный анализ снимков, совпадающих во времени, с использованием стереометрии и методики географической привязки кадров (рис. 2.2.4.10.1).

Было определено, что для снимков с разнесенной базой совпадение вершин одних и тех же столбов свечения наблюдается для высоты около 500 км. На рис. 2.2.4.10.1 показаны проекция кадра камеры всего неба НГК на поверхность Земли и снимок камеры, с помощью которой велись наблюдения в Никольске. Южная граница сияния достаточно хорошо совпадает на обоих снимках. Это согласуется с диапазоном высот красных сияний типа «а» или «d», которые, как правило, высвечиваются на гораздо больших высотах, чем обычные формы полярных сияний.

Данные цифровых камер астрономов-любителей являются достаточно информативными для изучения событий, происходящих в атмосфере. Дальнейшее привлечение фотографов-любителей позволит использовать больше разнесенных в пространстве точек наблюдения и, соответственно, улучшить точность получаемых характеристик.

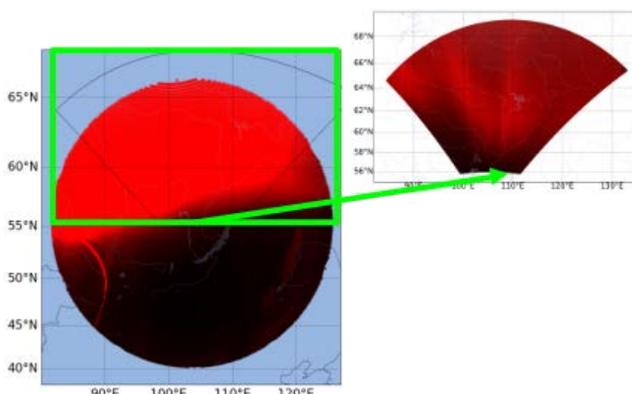


Рис. 2.2.4.10.1. Проекция кадра камеры всего неба ГФО на поверхность Земли для высоты 500 км в 13:41:00 UT 01.12.2023 и кадр, снятый в Никольске в тот же момент времени

Публикация:

Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В. Эффекты геомагнитной бури 01.12.2023 по данным оптических инструментов НГК и фотоснимкам Иркутского астрономического общества // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 2024. С. 301–306. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-301-306.

Syrenova T.E., Beletsky A.B., Vasilyev R.V. Geo-referencing images of wide-angle optical systems // Tech. Phys. 2024. Vol. 69. P. 424–430. DOI: 10.1134/S1063784224010407.

Сыренова Т. Е., Белецкий А. Б., Васильев Р. В. Среднеширотные сияния во время геомагнитных бурь по данным оптического комплекса НГК и снимкам гражданских ученых // Материалы Двадцать второй международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2024. С. 456. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.

Syrenova T.E., Beletsky A.B., Vasiliev R.V., Podlesny S.V. Spatiotemporal characteristics of the December 1, 2023 magnetic storm on data from the NHC optical complex and the Irkutsk Regional Astronomical Society // Physics of Auroral Phenomena. 47th Annual Seminar 2024. P. 28–31. DOI: 10.51981/2588-0039.2024.47.006.

2.2.4.11. Структура и динамика среднеширотных сияний в 25-м солнечном цикле

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий.

Оптическими инструментами Национального гелиогеофизического комплекса (НГК) в начале 25-го цикла солнечной активности (с апреля 2021 г. по май 2024 г. включительно) зарегистрировано 45 среднеширотных сияний (СС). В 26 из них в свечении наблюдались структуры, соответствующие SAR-дугам. Было получено распределение географической широты наблюдаемых SAR-дуг в зависимости от индекса Dst по данным камер всего неба НГК (рис. 2.2.4.11.1). Для этого географически привязанный для высоты 300 км кадр усреднялся по долготе с широтным шагом 0.1° . В алгоритме автоматического поиска положения SAR-дуги отслеживается локальный максимум интенсивности дуги с учетом пороговых значений, таких как наибольший сдвиг максимума по широте в последовательных кадрах и амплитуда локального максимума. Подобные зависимости позволяют выделить случаи с нетипичной динамикой структур СС. Так, одной из отличающихся от среднего распределения бурь является экстремальная буря 10–12 мая 2024 г. Во время этой бури были зарегистрированы несколько типов среднеширотных сияний, включая тип «ф», SAR-дуги и, возможно, сияния, вызываемые высыпанием тяжелых частиц.

Высокое количество зарегистрированных СС в 25-м солнечном цикле, несомненно, связано не только с высокой интенсивностью солнечного цикла, но и с вводом в эксплуатацию высокочувствительных оптических инструментов НГК.

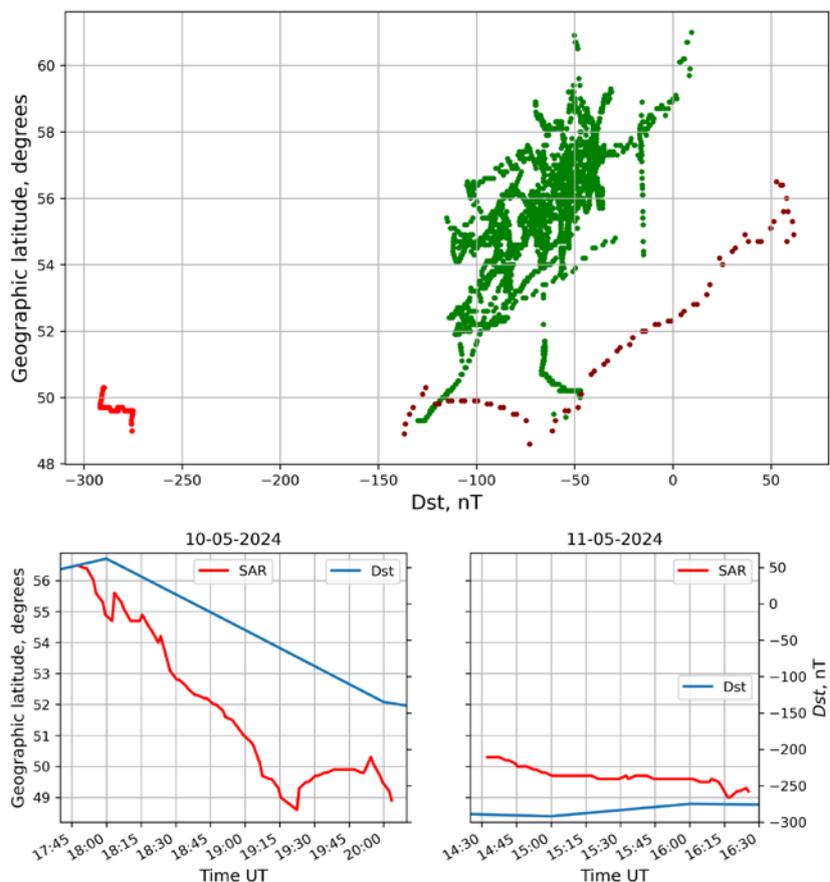


Рис. 2.2.4.11.1. Распределение широтного положения SAR-дуг и временной ход широтного положения SAR-дуги и индекса Dst 10 и 11 мая 2024 г.

Публикации:

Белецкий А.Б., Михалев А.В., Сыренова Т.Е., Васильев Р.В. Структура и динамика среднеширотных сияний в 25-м солнечном цикле по данным оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса РАН // Всеросс. открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 2024. С. 284–290. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-284-290.

Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Михалев А.В., Марчук Р.А., Подлесный С.В., Васильев Р.В. Среднеширотные сияния 25-го солнечного цикла по данным оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса // Physics of Auroral Phenomena. 47th Annual Seminar: Abstracts. Apatity, 2024. P. 26.

2.2.4.12. Искусственное оптическое свечение ионосферы в линиях 557.7 нм и 391.4 нм

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — И.Д. Ткачев.

В отличие от экспериментов прошлых лет, в 2023 и 2024 гг. наряду с красной линией атомарного кислорода 630.0 нм (порог возбуждения 1.96 эВ) впервые регулярно наблюдалось искусственное свечение ионосферы (ИОС) в зеленой линии 557.7 нм (порог возбуждения 4.19 эВ) атомарного кислорода и синей линии 391.4 нм (порог возбуждения 18.7 эВ) иона молекулярного азота. Свечение в линии 391.4 нм на стенде СУРА наблюдалось впервые (рис. 2.2.4.12.1). Возможными причинами наблюдения генерация ИОС в зеленой и синей линиях при воздействии мощной КВ-радиоволны могут быть: модернизация передающей антенны нагревного стенда СУРА, что позволило увеличить эффективную мощность волны накачки; проведение экспериментов во время максимума солнечной активности, поскольку увеличение интенсивности солнечного излучения оказывает влияние на состояние ионосферы и ее параметров; использование высокочувствительного регистрирующего фотометрического оборудования. Благодаря достаточно стабильным ионосферным условиям в первые часы после захода Солнца, удалось накопить большой объем данных по одновременным измерениям ИОС в красной (630.0 нм) и зеленой (557.7 нм) линиях атомарного кислорода и синей (391.4 нм) линии иона молекулярного азота при вариациях частоты мощной волны в окрестности четвертой электронной гирогармоники (5260–5455 кГц).

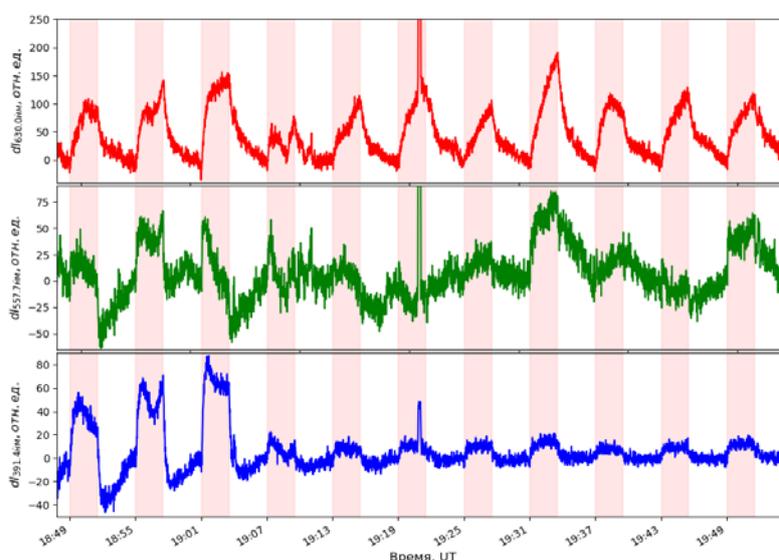


Рис. 2.2.4.12.1. Первое наблюдение в экспериментах на нагревном стенде СУРА эмиссии 391.4 нм (нижняя панель) с помощью трехканального фотометра 11.08.2023

Публикации:

Ткачев И.Д., Белецкий А.Б., Грач С.М., Насыров И.А., Шиндин А.В., Когогин Д.А. Искусственное оптическое свечение ионосферы в линиях 557.7 нм и 391.4 нм, индуцированное КВ-радиоизлучением стенда «Сура» // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. (Принята в печать).

Ткачев И.Д., Белецкий А.Б., Насыров И.А., Грач С.М., Шиндин А.В. Результаты фотометрических измерений искусственного оптического свечения ионосферы в линиях 557.7 нм и 391.4 нм на стенде СУРА // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 2024 С. 471–477. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-471-477.

Белецкий А.Б., Ткачев И.Д., Грач С.М., Насыров И.А., Когогин Д.А., Шиндин А.В., Дементьев В.О., Васильев Р.В., Легостаева Ю.К. Предварительные результаты экспериментальных кампаний 2024 года по регистрации свечения ионосферы, индуцированного мощным коротковолновым излучением стенда СУРА // Материалы Двадцать второй международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2024. С. 436. DOI 10.21046/21DZZconf-2024a.

2.2.4.13. Калибровка интерферометров Фабри — Перо НГК РАН по звездам

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — А.Д. Шелков.

Фотометрическая калибровка оптических инструментов необходима для перехода от неких абстрактных относительных единиц к абсолютным значениям энергии или потока излучения. Интерферометр Фабри — Перо (ИФП) фиксирует интерферограммы с помощью ПЗС-матрицы. На выходе мы видим пространственное распределение отклика матрицы и усилителя на падающее излучение в относительных единицах АЦП. Такие данные позволяют точно рассчитывать температуру и скорость ветра нейтральной компоненты, но про интенсивность свечения можно говорить только относительно. Чтобы получить абсолютные значения интенсивности, нужно использовать некий эталонный источник излучения. Это может быть специальный калибровочный источник или хорошо изученный естественный объект, например, звезда.

Было идентифицировано 10 звезд, которые регулярно проходили через поле зрения ИФП в 2023–2024 гг. Для определения отклика ИФП необходимо рассчитать суммарную интенсивность изображения звезды. Специфика интерферограмм заключается в наличии интерференционных колец, которые вносят ошибку (рис. 2.2.4.13.1). Для расчета выделялась прямоугольная область, содержащая изображение звезды, и вычислялась суммарная интенсивность внутри этой области. Для учета фоновых значений рассчитывалась суммарная интенсивность в трех прямоугольных областях, отраженных относительно вертикальной и горизонтальной осей интерферограммы и относительно центра.

Итоговый калибровочный коэффициент составил 25.5 фотонов/отн.ед.

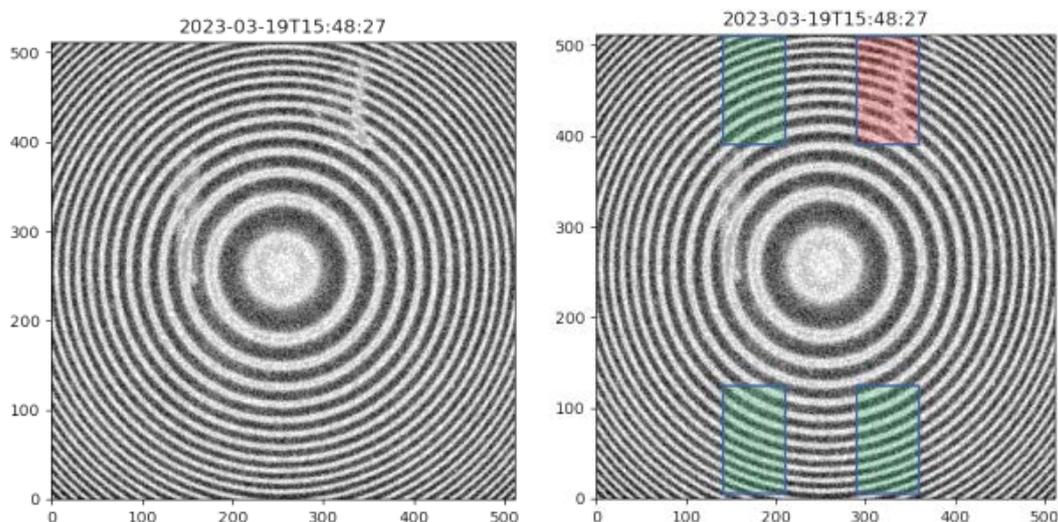


Рис. 2.2.4.13.1. Интерферограмма с видимыми изображениями звезд (слева), полученная на ИФП при экспозиции 120 с, а также интерферограмма с выделенными областями (справа) для подсчета отклика ИФП на звезду (красный прямоугольник) и для учета вклада колец (зеленые прямоугольники)

Публикация:

Шелков А.Д., Артамонов М.Ф. Фотометрическая калибровка интерферометров Фабри — Перо НГК РАН по звездам // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды XVIII Конференции молодых ученых. 2024. С. 235–236. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-235.

2.2.4.14. Полярные сияния в периоды экстремальных геомагнитных бурь. Событие Кэррингтона

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — д.ф.-м.н. А.В. Михалев.

Наблюдаемые глобальные климатические изменения, а также возможная роль вариаций солнечной активности в них обуславливают огромный интерес к экстремальным природным событиям прошлых веков. Детальное рассмотрение таких событий с учетом современного понимания физических процессов и явлений может быть полезным для их корректной интерпретации. Это в полной мере относится к экстремальным магнитным бурям и выдающимся сияниям (great aurora).

Анализ геомагнитной обстановки 1–3 сентября 1859 г. в период события Кэррингтона (рис. 2.2.4.14.1), визуальные наблюдения различных форм полярных сияний на средних и низких широтах в эти дни, а также современные представления о морфологии и механизмах формирования SAR-дуг и сопоставление с инструментальными наблюдениями SAR-дуг вблизи Иркутска позволяют допустить, что красная дуга, визуально наблюдавшаяся 2 сентября 1859 г. в Иркутске и описанная в летописях, является SAR-дугой. Интенсивность SAR-дуги, описанной в иркутских летописях, может быть оценена как ~ 10–20 кРл. Можно допустить, что на текущий момент описание полярного сияния 2 сентября 1859 г. в Иркутске является первым предметным описанием SAR-дуги, за век до ее открытия как явления. Несомненно, что человечество не раз наблюдало это явление в средних широтах в предшествующие века.

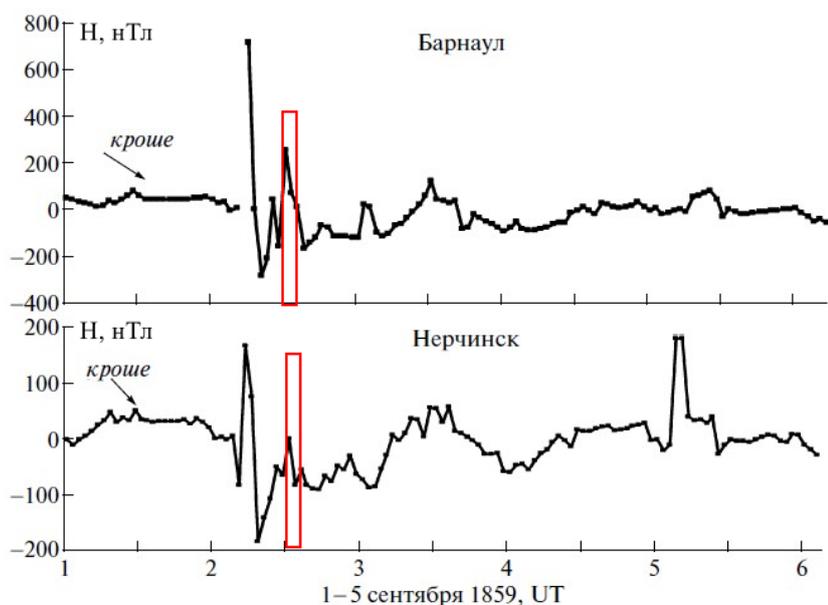


Рис. 2.2.4.14.1. Часовые значения отклонений от среднего H -компоненты магнитного поля 1–5 сентября 1859 г. для ст. «Барнаул» и «Нерчинск» и временной интервал наблюдения полярного сияния в Иркутске (выделен красным прямоугольником)

Публикация:

Михалев А.В., Белецкий А.Б. Полярные сияния в периоды экстремальных геомагнитных бурь: визуальные наблюдения SAR-дуги в Иркутске во время события Кэррингтона 1859 года // Солнечно-земная физика. 2025. Т. 11, № 1 (принята в печать).

2.2.4.15. Полярные сияния в периоды экстремальных геомагнитных бурь 11 февраля 1958 г.

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — д.ф.-м.н. А.В. Михалев.

Был выполнен анализ особенностей среднеширотного сияния типа *great aurora* во время экстремальной магнитной бури 11 февраля 1958 г., которое обладало необычными оптическими и спектральными характеристиками: очень большой интенсивностью эмиссии атомарного кислорода [OI] 630 нм (10^5 – 10^8 Рл) и необычно высоким отношением интенсивностей двух запрещенных линий кислорода [OI] 630 нм и 557.7 нм $I_{630}/I_{557.7}$, достигшим 10^3 – 10^4 (рис. 2.2.4.15.1). В результате анализа динамики I_{630} во время других экстремальных геомагнитных бурь, а также сопутствующих геофизических условий и физических процессов в ионосфере и магнитосфере Земли высказано предположение, что среднеширотные сияния типа *great aurora* формируются во время интенсивных суббурь на главных фазах магнитных бурь. Для интерпретации наблюдаемых особенностей среднеширотного сияния 11 февраля 1958 г. предлагается рассмотреть механизм селективного заселения уровня [OI] 1D, в котором могут быть реализованы реакции резонансной перезарядки ионов кислорода $O+(2D)+O(3P)\rightarrow O+(4S)+O(3P, 1D)$ и/или реакции столкновения атомов и молекул кислорода с возбужденными компонентами нечетного азота.

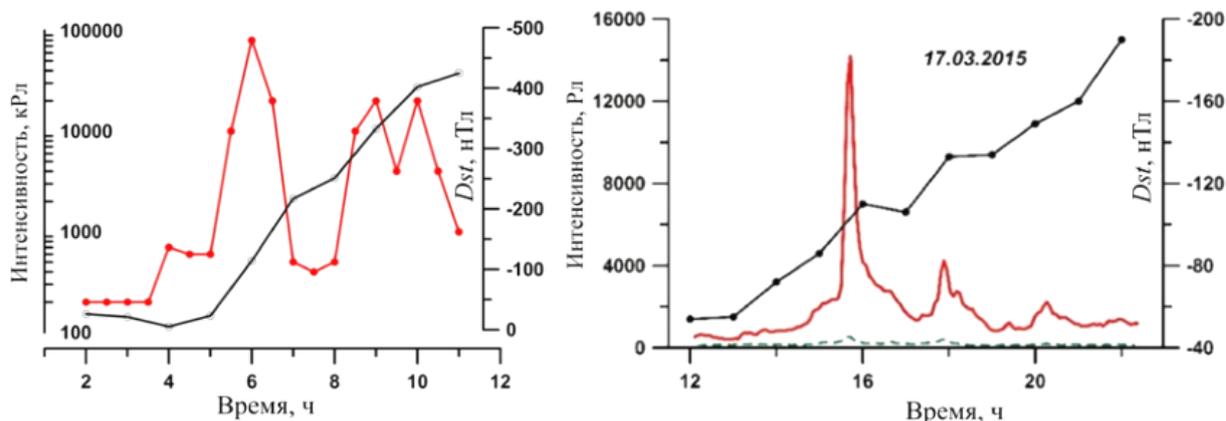


Рис. 2.2.4.15.1. Динамика интенсивности эмиссии 630 нм (красные линии) во время магнитной бури 11 февраля 1958 г. в Сакраменто-Пик (слева) и магнитной бури Святого Патрика 17 марта 2015 г. в ГФО ИСЗФ СО РАН (справа) в сопоставлении с динамикой Dst -индекса (черные линии); зеленая штриховая линия (справа) — интенсивность эмиссии 557.7 нм

Публикация:

Михалев А.В. Полярные сияния в периоды экстремальных геомагнитных бурь: особенности среднеширотного сияния 11 февраля 1958 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 60–66. DOI: 10.12737/szf-102202406.

2.2.4.16. Сопоставление ночных вариаций параметров нейтральной компоненты и концентрации электронов в верхней атмосфере

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — А.Д. Шелков.

Предрасветное усиление свечения красной линии атомарного кислорода 630 нм известно с 1959 г., однако оно по-прежнему представляет интерес при исследовании магнитосферно-ионосферного взаимодействия. Интерферометры Фабри — Перо НГК РАН способны обнаруживать это усиление, что в комбинации с другими инструментами позволяет исследовать транспортировку вещества и энергии из магнитосопряженной области. В данной работе в дополнение к ИФП использовался цифровой ионозонд DPS-4. Чтобы перейти от вариаций к абсолютным значениям интенсивности, была проведена фотометрическая калибровка интерферометра. После калибровки было проведено сравнение интенсивности, температуры и электронной концентрации (рис. 2.2.4.16.1) для зим 2022 и 2023 гг. В среднем все из рассмотренных параметров в 2023 г. были выше, чем в 2022. Это можно объяснить ростом солнечной активности в 2023 г. относительно 2022 г. Несмотря на то, что основным движущим фактором генерации свечения мы считали электроны, ближе к локальному рассвету электронная концентрация растет не так сильно, как интенсивность. Возможно, из магнитосопряженной точки приходят сверхтепловые электроны, вызывающие больше актов возбуждения на 1 электрон.

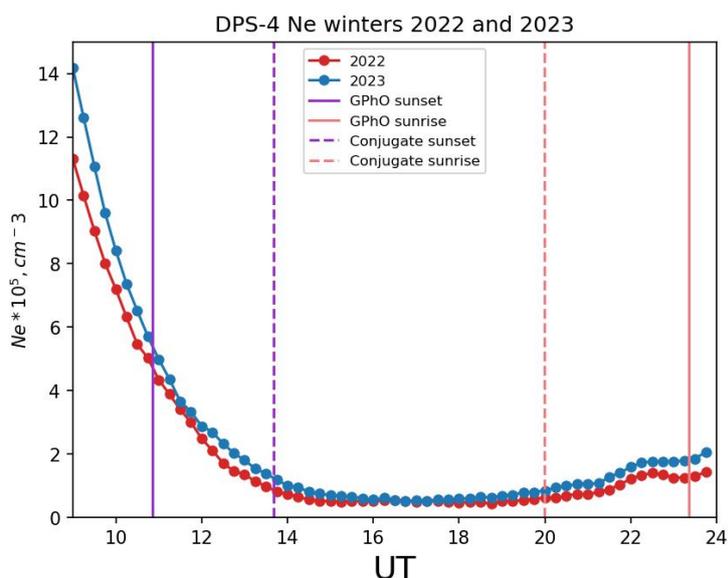


Рис. 2.2.4.16.1. Сравнение электронной концентрации в слое 200–300 км в зимние периоды 2022/2023 и 2023/2024 гг.

Публикация:

Шелков А.Д., Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Ратовский К.Г. Сопоставление ночных вариаций параметров нейтральной компоненты и концентрации электронов в верхней атмосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды XVIII Конференции молодых ученых. Иркутск: Институт солнечно-земной физики СО РАН, 2024. С. 237. DOI 10.62955/0135-3748-2024-237. EDN MGLBOO.

2.2.4.17. Перемещающиеся возмущения в эмиссии атомарного кислорода 630 нм во время воздействия на ионосферу мощного коротковолнового излучения стенда СУРА

Грант РФФ №23-27-00323. Руководитель — к.ф.-м.н. И.А. Насыров (КФУ). Автор результата — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий.

Во время воздействия излучения стенда СУРА на ионосферу 7 и 10 августа 2021 г. зафиксированы крупномасштабные перемещающиеся структуры, источник которых в настоящее время неизвестен (рис. 2.2.4.17.1). Наблюдается движение одиночной волны длиной не менее 400 км на юго-запад и движение фронта аналогичного пространственного масштаба на северо-восток. Расчетная скорость движения структур на высоте 300 км составила: 7 августа 2021 г. — на юго-запад ~104 м/с, на северо-восток ~127 м/с; 10 августа 2021 г. — на юго-запад ~71 м/с, на северо-восток ~142 м/с. В ходе экспериментальных кампаний с 2012 по 2021 г. подобных структур не наблюдалось. Кроме того, с 2012 г. по настоящее время проводятся мониторинговые измерения с помощью камер всего неба в эмиссии 630 нм в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН, где структур со схожими пространственными характеристиками не зарегистрировано. В известной нам литературе также не удалось найти упоминаний о возмущениях с подобными структурой и поведением.

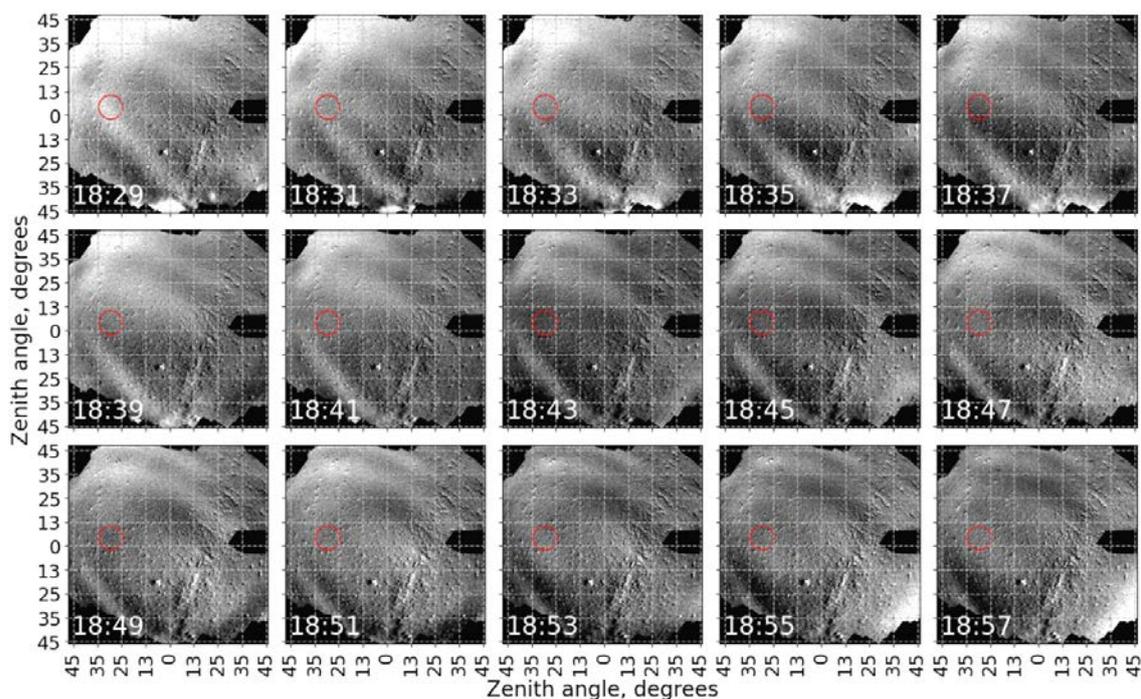


Рис. 2.2.4.17.1. Крупномасштабные перемещающиеся структуры в интенсивности линии 630 нм, зарегистрированные 10.08.2021

Публикации:

Beletsky A.V., Nasyrov I.A., Syrenova T.E., Kogogin D.A., Dementiev V.O., Podlesny S.V., Emelyanov V.V., Vasiliev R.V. Traveling disturbances in airglow at 630.0 nm during impact to ionosphere of high-frequency radio emission of the SURA facility // *Оптика атмосферы и океана* (принята в печать).

Белецкий А.Б., Насыров И.А., Сыренова Т.Е., Когогин Д.А., Дементьев В.О., Емельянов В.В., Васильев Р.В. Возмущения свечения атмосферы на длине волны 630.0 нм при воздействии на ионосферу высокочастотного радиоизлучения стенда СУРА // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 2024. С. 291–300. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-291-300.

Белецкий А.Б., Насыров И.А., Сыренова Т.Е., Когогин Д.А., Дементьев В.О., Подлесный С.В., Емельянов В.В., Васильев Р.В. Перемещающиеся возмущения в эмиссии атомарного кислорода 630 нм во время воздействия на ионосферу мощного коротковолнового излучения стенда СУРА // *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума [Электронный ресурс]*. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2024. С. Е32. DOI: 10.56820/OAO30E32.

2.2.4.18. Фотометрия ночной атмосферы Земли на основе цветного ПЗС-приемника

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Автор результата — С.В. Подлесный.

В основном для оптических исследований физических процессов на высотах мезосферы — нижней термосферы используются отдельные спектральные составляющие излучения верхней атмосферы Земли. Регистрация же в интегральном излучении дает возможность оценить общую динамику излучения, включающую в себя все яркие линии и полосы эмиссий атмосферных составляющих, а также континуум собственного излучения

атмосферы. Представлен анализ оптических данных интегрального излучения верхних слоев атмосферы, полученных при помощи широкоапертурной цифровой камеры для регистрации излучения ночной атмосферы ФИЛИН-1Ц в 2010–2022 гг. Получены сезонные ходы светимостей ночного неба в каналах R, G, B цветной камеры, характеризующиеся снижением интенсивности в весенние месяцы, увеличением в осенние месяцы и наличием летнего максимума. Летний максимум в сезонном ходе интерпретируется рассеянным солнечным светом (см. рис. 2.2.4.18.1). Сравнительный анализ с аналогичными данными наблюдений свечения верхней атмосферы, полученными другими авторами в прошлые десятилетия, показал сходство сезонного хода для Сибирского и Кавказского регионов, за исключением максимума интенсивности в летние месяцы, обусловленного различным географическим положением точек наблюдений.

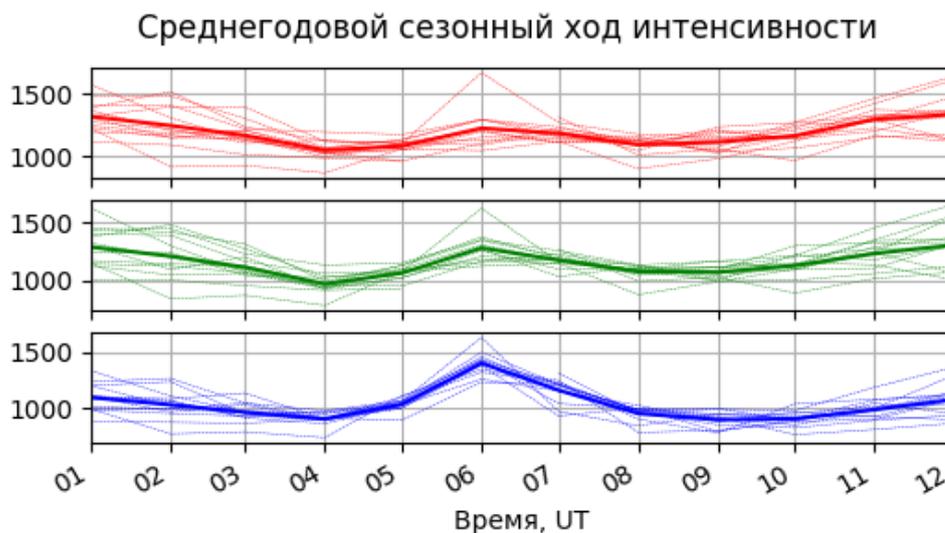


Рис. 2.2.4.18.1. Среднегодовой сезонный ход свечения ночной атмосферы за 2010–2022 гг.

Публикация:

Подлесный С.В., Михалев А.В. Фотометрия ночной атмосферы Земли на основе цветного ПЗС-приемника // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: Труды XVIII Конференции молодых ученых. 2024. С. 194–195. DOI: 10.62955/0135-3748-20244.

2.2.4.19. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Оптические инструменты НГК РАН

2.2.4.19.1. Статистическое исследование вариаций интенсивности, температуры и скоростей ветров в атмосфере, измеренных с помощью ИФП (интерферометров Фабри — Перо) из состава новых инструментов НГК

Наблюдения ночного свечения атмосферы на интерферометрах Фабри — Перо (ИФП) ведутся в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН достаточно давно. В связи с вводом в эксплуатацию модуля «Оптические инструменты» Национального гелиогеофизического комплекса (НГК) появилось два новых ИФП. К настоящему времени возникла необходимость приведения к единому виду данных различных инструментов за разные периоды времени. Одновременно было проведено исследование влияния циклов солнечной активности на параметры атмосферы, определяемые с помощью ИФП, такие как интенсивность свечения, температура, значения скоростей меридионального и зонального ветров, полученных по данным свечения линии атомарного кислорода 630 нм (высота ~250 км).

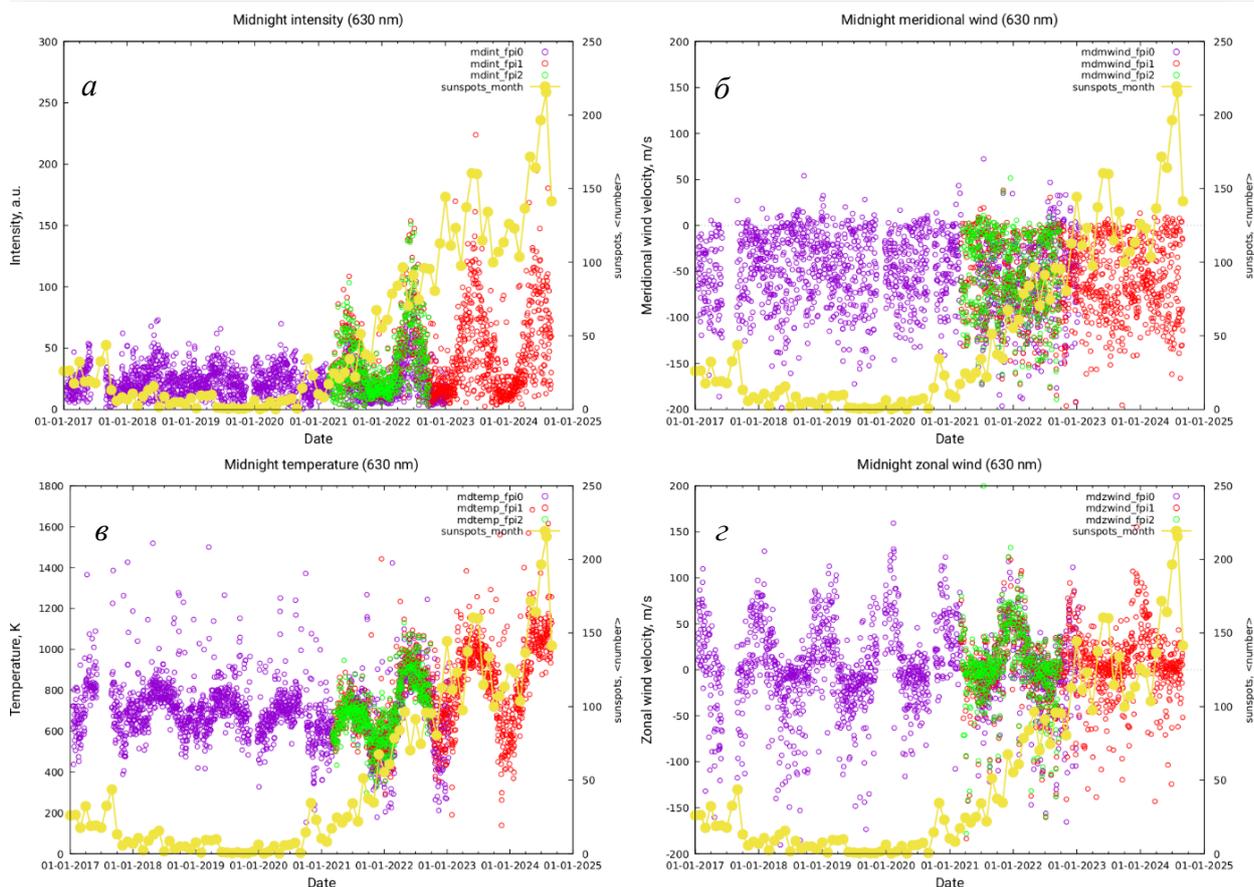


Рис. 2.2.4.19.1.1. Интенсивность свечения (а), скорость меридионального ветра (б), температура (в) и скорость зонального ветра (г) вблизи полуночи за весь исследуемый период времени для линии 630 нм. Фиолетовые маркеры соответствуют ИФП0, красные — ИФП1, зеленые — ИФП2, желтая кривая — среднемесячное кол-во солнечных пятен за тот же период

На рис. 2.2.4.19.1.1. показаны усредненные интенсивность свечения, температура, скорости меридионального и зонального ветра вблизи полуночи по местному времени (17:00 UTC \pm 30 мин); точками разных цветов отмечены значения трех приборов: ИФП0 (старый), ИФП1 и ИФП2 (новые); желтой кривой отображена солнечная активность (среднемесячное количество солнечных пятен). Таким образом, одна точка соответствует одному дню (ночи) года. Видно, что интенсивность, и в особенности температура в летние месяцы, растут с увеличением солнечной активности. Кроме того, размах изменчивости температуры в период зима–лето также растет. Скорости меридионального и зонального ветров не имеют ярко выраженной зависимости от солнечной активности, при этом зональный ветер имеет строго регулярную периодичность: зимой дует на восток, летом — на запад. В 2021–2022 гг. все три прибора какое-то время вели наблюдения по единой программе. В этот период наблюдается их хорошая согласованность в параметрах.

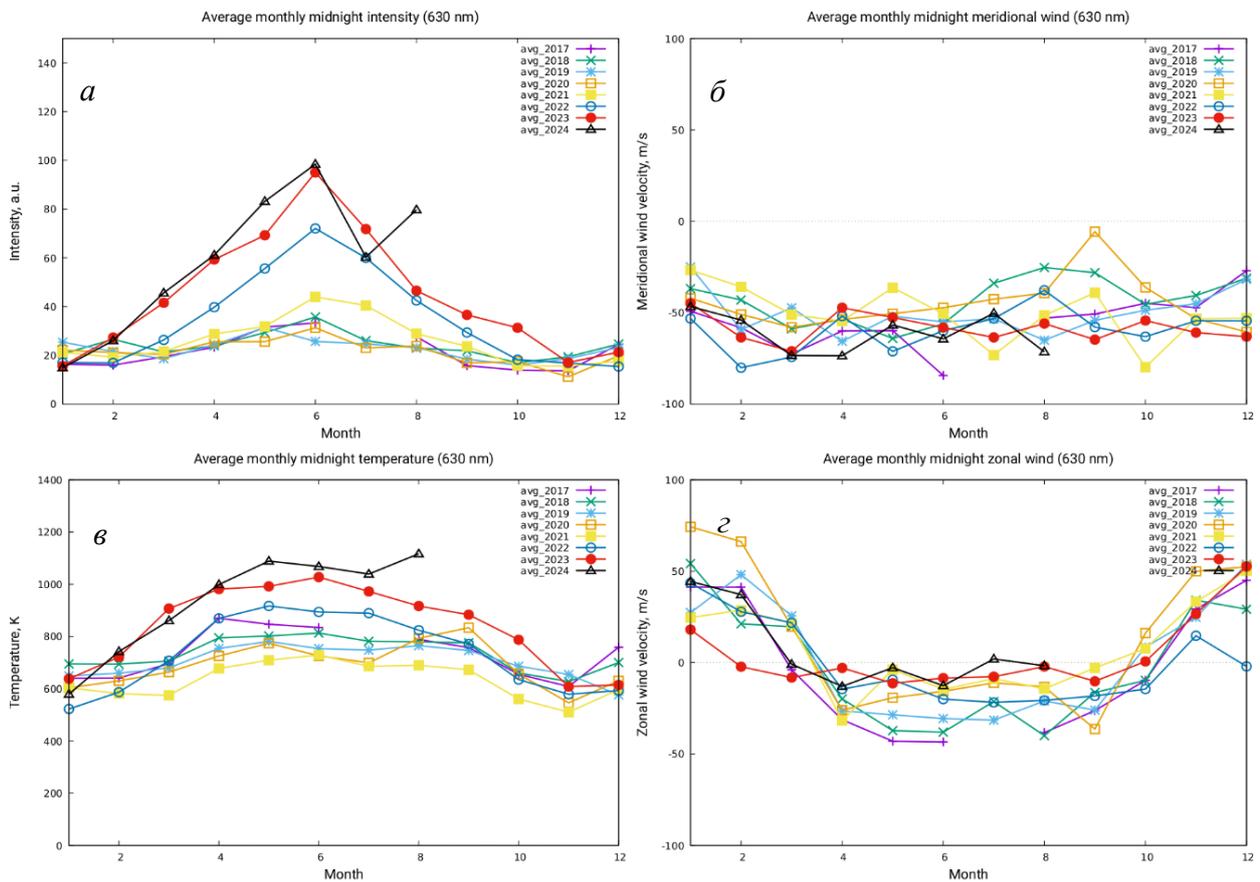


Рис. 2.2.4.19.1.2. Среднемесячные значения полуночных интенсивности свечения (а), скорости меридионального ветра (б), температуры (в) и скорости зонального ветра (г) по годам наблюдения

На рис. 2.2.4.19.1.2. показаны среднемесячные значения полуночных интенсивности свечения, температуры скорости меридионального и зонального ветров по годам наблюдения. Усреднение позволило получить более взвешенные значения, удобные для сравнительного анализа. Видно, что интенсивность и температура в летний период растут последние три года, что, вероятно, связано с развитием солнечного цикла. В то же время меридиональный ветер, дующий летом на юг, в последние два года ослабевает.

2.2.4.19.2. Сопоставление ночных вариаций параметров нейтральной компоненты и концентрации электронов в верхней атмосфере

Явление предрассветного усиления свечения красной линии атомарного кислорода 630 нм известно еще с 1959 г. [Barbier, 1959]. Тем не менее, оно все еще представляет интерес для исследования магнитосферно-ионосферного взаимодействия. Интерферометры Фабри — Перо НГК РАН способны обнаруживать это усиление. В комбинации с другими инструментами можно исследовать транспорт вещества и энергии из магнитосопряженной области. В данной работе в дополнение к ИФП использовался цифровой ионозонд DPS-4. Чтобы перейти от вариаций к абсолютным значениям интенсивности, нужно провести фотометрическую калибровку интерферометра. На рис. 2.2.4.19.2.1. видно, что зимой 2023–2024 г. интенсивность и электронная концентрация показывают высокую корреляцию с 15 до 20 UT (нижняя панель). Аналогичная картина наблюдается и в другие сезоны.

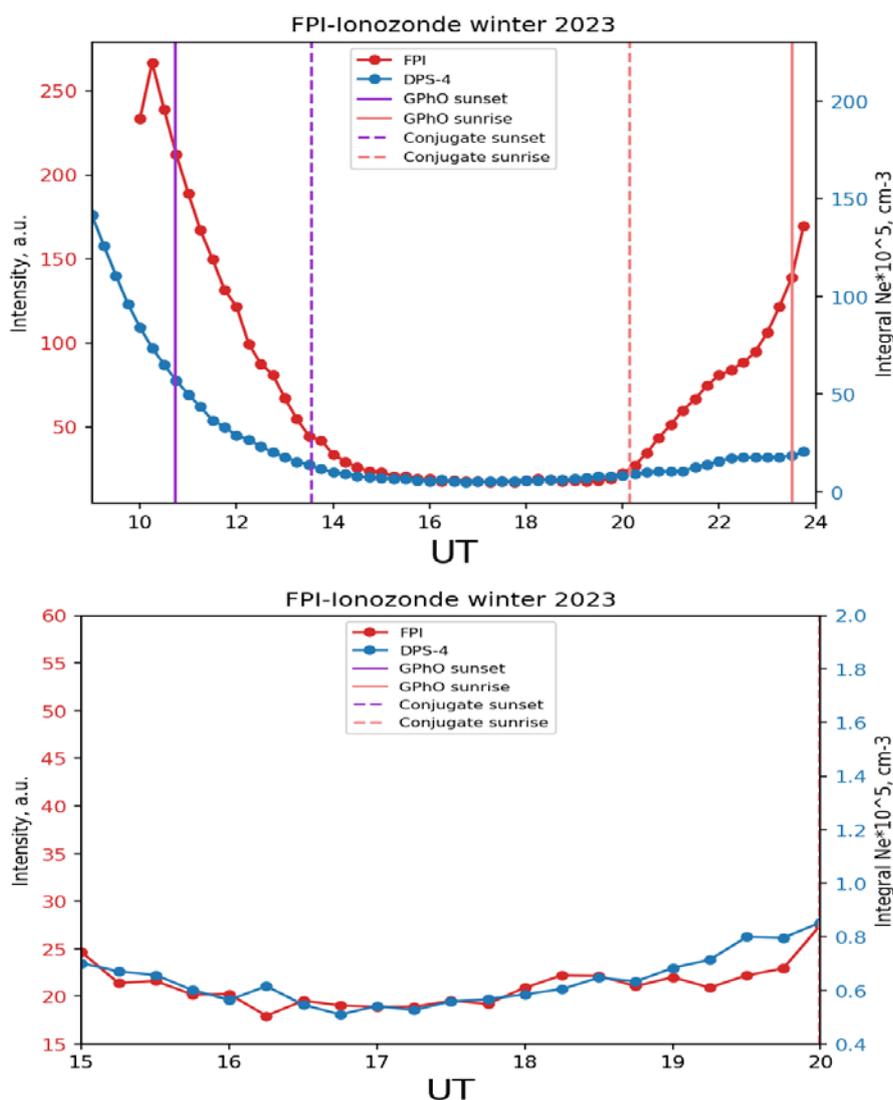


Рис. 2.2.4.19.2.1. Сопоставление интенсивности линии 630 нм по данным ИФП (красная линия) и электронной концентрации по данным DPS-4 (синяя линия). Вертикальные линии показывают время локального (сплошные линии) и магнитосопряженного (штриховые линии) заката/рассвета на высоте 250 км

Для калибровки нужно построить соотношение теоретической интенсивности с откликом интерферометра. Для получения теоретической интенсивности использовались формулы [Link, Cogger, 1988; Фишкова, 1983]

$$I_R [\text{РЛ}] = I_{630} \left[\frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \text{с}} \right] \frac{\lambda [\text{нм}]}{1.98 \cdot 10^3}, \quad I_{630} [\text{РЛ}] = \frac{0.76 \beta k_1 [\text{O}^+][\text{O}_2]}{1 + (k_3[\text{N}_2] + k_4[\text{O}_2] + k_5[\text{e}]) (1 +) / A_{1D}}.$$

где $[\]$ — концентрация элемента, k_1, k_3, k_4, k_5 — коэффициенты частоты реакций, A_{1D} — обратное время жизни возбужденного состояния, β — выход $\text{O}(1D)$ из 1-й реакции диссоциативной рекомбинации. Калибровочный коэффициент составил 1.5–1.6 РЛ/у.е. После калибровки было проведено сравнение интенсивности, температуры (рис. 2.2.4.19.2.2.) и электронной концентрации для зимних сезонов 2022–2023 гг. В среднем из рассмотренных параметров в 2023 г. все были выше, чем в 2022 г. Это можно объяснить ростом солнечной активности в 2023 г. по отношению к 2022 г. Также, несмотря на то, что основным движущим фактором генерации свечения мы считали электроны, ближе к локальному рассвету электронная концентрация растет далеко не так сильно, как интенсивность. Возможно, из магнитосопряженной точки приходят сверхтепловые электроны, вызывающие больше актов возбуждения на один электрон.

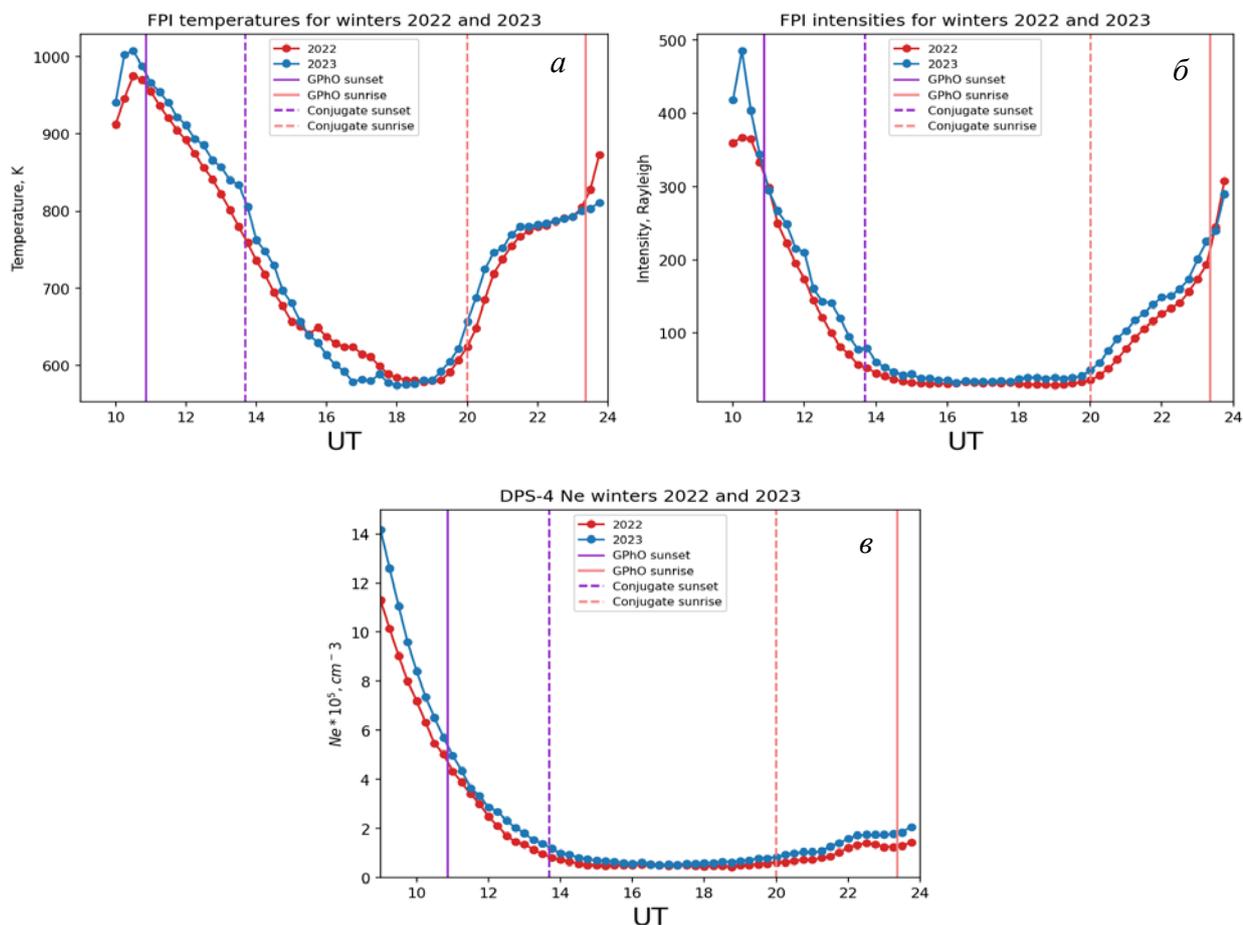


Рис. 2.2.4.19.2.2. Динамика интенсивности свечения красной линии атомарного кислорода 630 нм (а) и температуры нейтральной компоненты (б) зимой 2022–2023 и 2023–2024 гг.; динамика электронной концентрации в слое 200–300 км зимой 2022–2023 и 2023–2024 гг. (в)

Публикации:

Шелков А.Д., Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Ратовский К.Г. Сопоставление ночных вариаций параметров нейтральной компоненты и концентрации электронов в верхней атмосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XVIII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». 2024. с. 270.

Литература:

Barbier D. Recherches sur la raie 6300 de la luminescence atmospherique nocturne // Annals of Geophys. 1959. Vol. 15. P. 179–217.

Link R., Cogger L. A reexamination of the 6300-Angstrom nightglow // J. Geophys. Res. 1988. Vol. 93, no. A9. P. 9883–9892.

Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли // И. Мецниереба, Тбилиси, 1983.

2.2.4.19.3. Исследование ИК-спектров собственного свечения атмосферы, полученных спектрографом “КЕО-Infrared” в геофизической обсерватории п. Торы.

В процессе обработки инфракрасных (ИК) спектров, полученных спектрометром “КЕО SWIR”, расположенным в Геофизической обсерватории п. Торы, была обнаружена слабая нелинейность шкалы длин волн, а также разрывы шкалы (нестыковки отдельных кадров) при различных фиксированных положениях дифракционной решетки. Было принято решение о создании математической модели измерений спектрометра для уточнения горизонтальной развертки спектров. В рамках проведенного исследования было получено следующее выражение для перевода отсчетов положений пикселя в кадре спектра в длины волн в метрах с учетом начального положения решетки, ее типа, параметров матрицы камеры и геометрии узлов прибора:

$$\lambda_{kj} = \frac{d}{m} \left(\sin \left(\arctg \left(\frac{(p_{kj} - (320 - p_{shift})) \cdot ps \cdot \cos \delta}{f + (p_{kj} - (320 - p_{shift})) \cdot ps \cdot \sin \delta} \right) + \theta_{CWLk} + \theta_{SP} \right) + \sin \theta_{CWLk} \right)$$

$p_{kj} \in [0,639]$ — номер пикселя в кадре по горизонтали;

$\theta_{CWLk} = \arcsin \left(\frac{m \lambda_{CWLk}}{2d \cos \frac{\theta_{SP}}{2}} \right) - \frac{\theta_{SP}}{2}$ — угол падения луча на дифракционную решетку, при

котором m -й порядок отражения света с длиной волны λ_{CWLk} окажется в центре матрицы; $ps = 0.00002$ м — размер пикселя матрицы;

p_{shift} — смещение спектра в пикселях относительно центра кадра (особенность прибора);

$\lambda_{CWLk} = 10^{-9} \cdot (900 + 60k)$, $k \in [0,14]$ задает режим наблюдений (положения решетки);

$\theta_{SP} = 24.81^\circ$ — постоянная спектрометра;

$\delta = 9^\circ$ — постоянная спектрометра;

d — период решетки [м];

f — фокусное расстояние спектрометра [м];

$m = 1$ — регистрируемый порядок дифракции (модуль);

λ_{kj} — длина волны для данного p_{kj} и λ_{CWLk} [м].

Совмещенные ИК-спектры, полученные при 15 различных положениях дифракционной решетки 14 декабря 2023 г. около 00:00 LT, показаны на рис. 2.2.4.19.3.1. Видно, что в случае частичного перекрытия спектрограмм происходит удовлетворительное наложение. Стоит отметить наличие систематического смещения p_{shift} , а также небольшое «дрожание» определяемых длин волн (рис. 2.2.4.19.3.2). Обработка спектров за длительный период показала применимый спектральный диапазон прибора 950–1650 нм. Для данного спектрального окна характерно наличие большого количества линий ОН, следующих широкими группами с относительно высокой интенсивностью пиков. Помимо доминирующего гидроксила, здесь регистрируются линии молекулярного кислорода, кроме того, во время сильных геомагнитных бурь возможно наблюдение линии He 1083 нм.

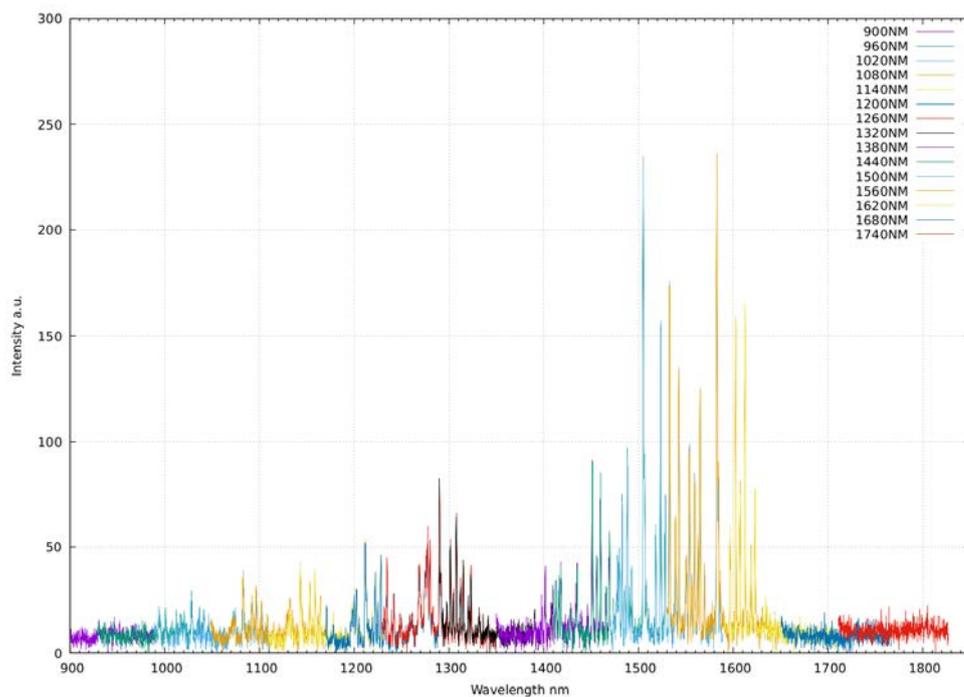


Рис. 2.2.4.19.3.1. Совмещенные ИК-спектры при заданных положениях дифракционной решетки (отображены цветом)

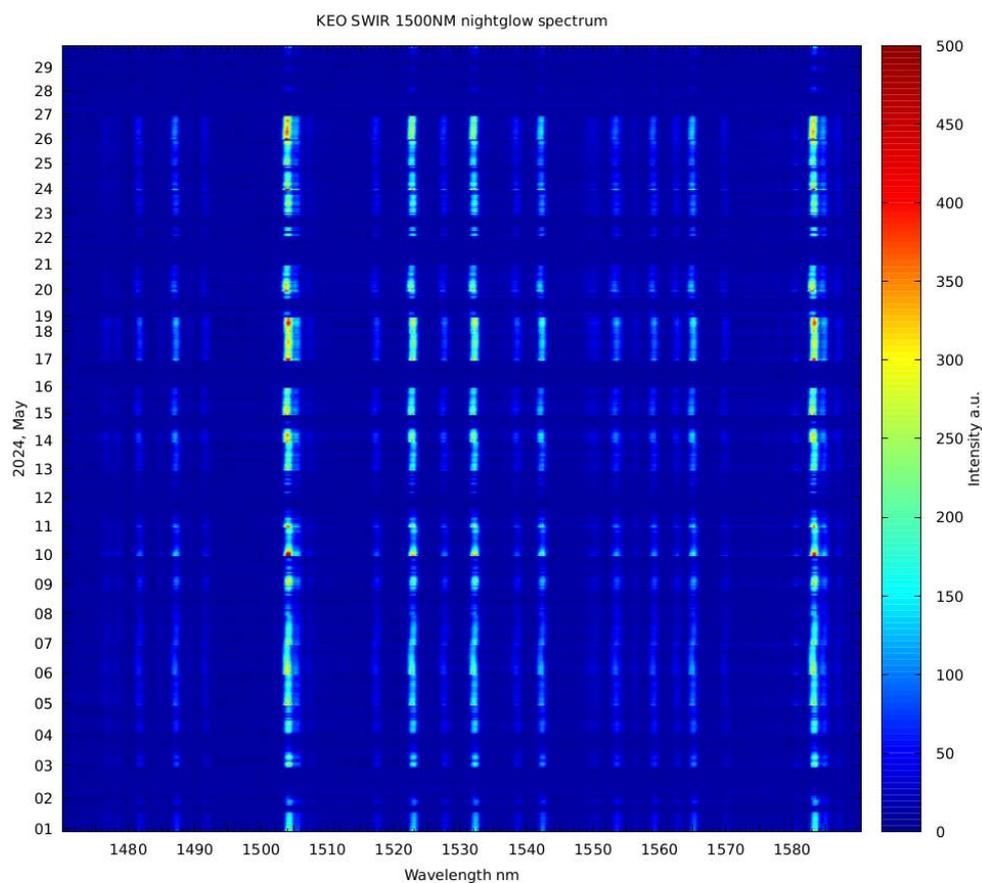


Рис. 2.4.19.3.2. ИК-спектрограмма, построенная по данным наблюдений в мае 2024 г. (ось времени направлена снизу вверх)

2.2.4.19.4. Экстремальная магнитная буря 10–19 мая 2024 г.

10–11 мая 2024 г. произошла наиболее сильная геомагнитная буря 25-го цикла солнечной активности. Воздействие солнечного ветра привело к снижению индекса Dst до экстремально низкого за последние 20 лет уровня -400 нТл, K_p при этом оставался на уровне 8–9 на протяжении суток.

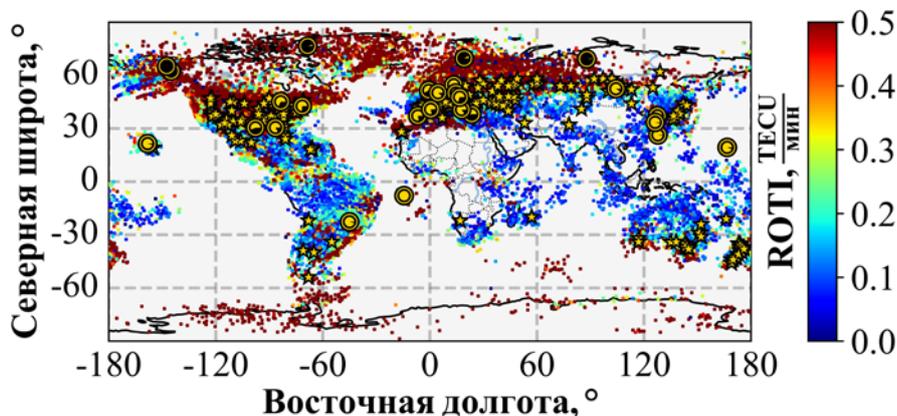


Рис. 2.2.4.19.4.1. Глобальная картина воздействия экстремальной магнитной бури в мае 2024 г. на атмосферу и ионосферу. Наблюдения полярных сияний 10–12 мая 2024 г. по данным из открытых источников (желтые звездочки). Черная заливка в желтых кружках показывает долю времени 10–12 мая 2024 г., когда отсутствовал прием сигнала на ионозондах вертикального зондирования. В качестве подложки дана карта индекса ROTI в 22:06 UT 10 мая 2024 г.

Сияния наблюдались повсеместно в средних и даже приэкваториальных широтах. Во время бури произошло значительное снижение глобального электронного содержания, и значительно возросла его вариативность, высокоширотные ионозонды сутки находились в режиме «blackout» (рис. 2.2.4.19.4.1.).

Среднеширотные ионозонды и радар некогерентного рассеяния (НР) показали значительное снижение локальной электронной концентрации и смещение главного ионосферного провала в экваториальном направлении. Оптические инструменты НГК зафиксировали проход SAR-дуги, являющейся оптическим компонентом характеризующим экваториальную границу овала высыпаний и главный ионосферный провал, через зенит среднеширотной станции наблюдений (рис. 2.2.4.19.4.2). При этом наблюдались рекордно высокие значения интенсивности линий свечения атомарного кислорода 630.0 и 557.7 нм, а в спектре сияний регистрировались нетипичные для средних широт линии свечения атомарного азота и гелия (рис. 2.2.4.19.4.2).

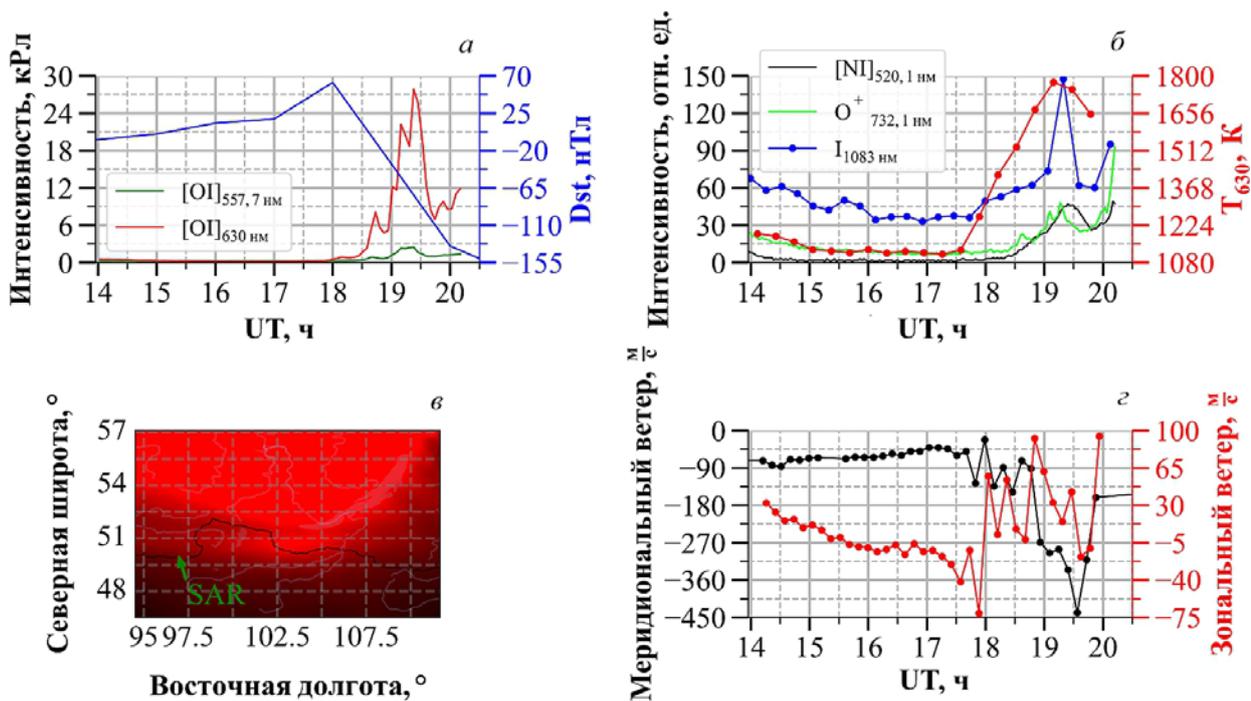


Рис. 2.2.4.19.4.2. Оптические измерения параметров атмосферы 10 мая 2024 г. (а) — динамика интенсивностей свечения [OI] 630.0 нм (красная кривая) и [OI] 557.7 нм (зеленая кривая), а также индекса Dst (голубая кривая); (б) — динамика интенсивностей свечения [NI] 520 нм (черная кривая) и O⁺ 732 нм (зеленая кривая), температуры по данным интерферометра Фабри — Перо на линии [OI] 630.0 нм (красная кривая), а также свечение на длине волны 1083 нм в полосе ОН 5-2 (синяя кривая) (с предположительным усилением свечения в линии He(23S) около 19:20 UT); (в) — изображение SAR-дуги на длине волны 630.0 нм в 19:03 UT 10 мая (проекция на высоту 250 км); (г) — скорость меридионального (черная кривая) и зонального (красная кривая) ветра по данным интерферометра Фабри — Перо на линии [OI] 630.0 нм

Температура нейтральной компоненты верхней атмосферы возросла на 700 К во время интенсификации свечения, на такую же величину поднялась температура ионов полученная по данным наблюдений радара НР (рис. 2.2.4.19.4.3). Динамика горизонтального ветра во время события была нетипичной для бури, что выражалось в усилении восточной, а не западной вариации ветра а также быстрых осцилляциях скорости восточного ветра (рис. 2.2.4.19.4.3).

Экстремальная магнитная буря, произошедшая 10–19 мая 2024 г., предоставила уникальный материал для изучения физических процессов в ионосфере и атмосфере Земли. В настоящей работе впервые показано, как нагрев и перенос молекулярного азота N₂ из полярных в средние широты во время магнитной бури приводит к приблизительно пятикратному уменьшению электронной концентрации в F2-слое ионосферы из-за подъема N₂ и повышения рекомбинации. Уменьшение электронной концентрации в F2-слое было столь сильным, что высота максимума сместилась из F2-слоя в нижележащий F1-слой (условие G). Такие наблюдения оказались возможны благодаря вводу в эксплуатацию комплекса оптических инструментов в рамках НГК РАН в Восточной Сибири, вблизи Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) и в центре широкой сети ионозондов. Измерения параметров ионосферы в Восточной Сибири, дополненные данными коротковолнового радара ЕКВ (пос. Арти), показали сильные искажения при распространении радиоволн вплоть до полной потери сигнала в период максимальной интенсивности бури. Измерения атмосферных и ионосферных параметров над Россией, дополненные данными о наблюдении полярных сияний и вариаций полного электронного содержания по всему земному шару (демонстрирующими расширение овала полярных сияний на юг до экваториальных широт), позволяют анализировать полную картину процесса.

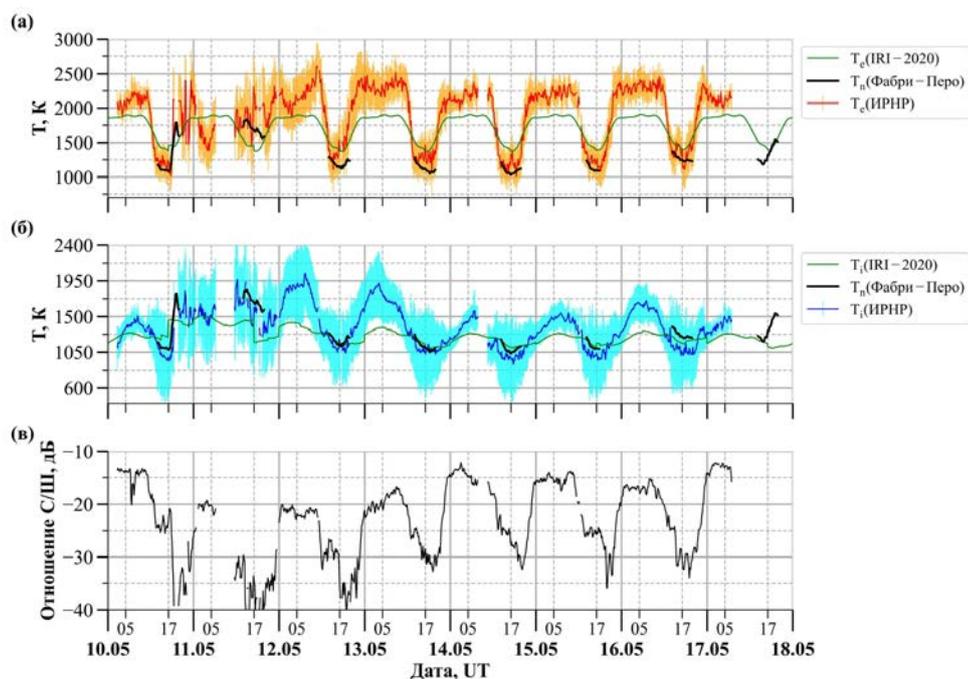


Рис. 2.2.4.19.4.3. Температура электронов (а) и ионов (б) по данным ИРНР на высоте 250 км (красная и синяя линии) и нейтральной атмосферы по данным интерферометра Фабри — Перо (жирные чёрные линии), а также отношение сигнал/шум на ИРНР (в). Зеленая кривая — данные модели IRI-2020. Оранжевая и голубая область указывают диапазон ошибок для температур, измеряемых на ИРНР. Отметки 05 и 17 UT соответствуют полудню и полуночи в месте наблюдения

Публикации:

Ю.В. Ясюкевич, Р.В. Васильев, А.В. Рубцов и др. «Экстремальная магнитная буря 10-19 мая 2024 г.: Взаимодействие нейтральной и заряженной компонент верхней атмосферы и воздействие на радиотехнические системы». Доклады академии наук. Принята в печать, ноябрь 2024.

2.2.5. Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера

2.2.5.1. Прямое доказательство возбуждения дрейфово-компрессионных волн посредством дрейфового резонанса с протонами кольцевого тока в магнитосфере

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.В. Рубцов, к.ф.-м.н. Д.В. Костарев, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Компрессионные волны Pc4–5 наблюдались с помощью спутника ARACE вблизи магнитного экватора на $L \sim 6$. Наблюдаемая частота соответствовала частоте, рассчитанной с использованием теории дрейфово-компрессионного режима. Было обнаружено, что источником энергии волны была дрейфовая резонансная неустойчивость, вызванная отрицательным радиальным градиентом плотности протонного фазового пространства при 20–25 кэВ. Это согласуется с теорией дрейфово-компрессионных волн, развитой в ИСЗФ.

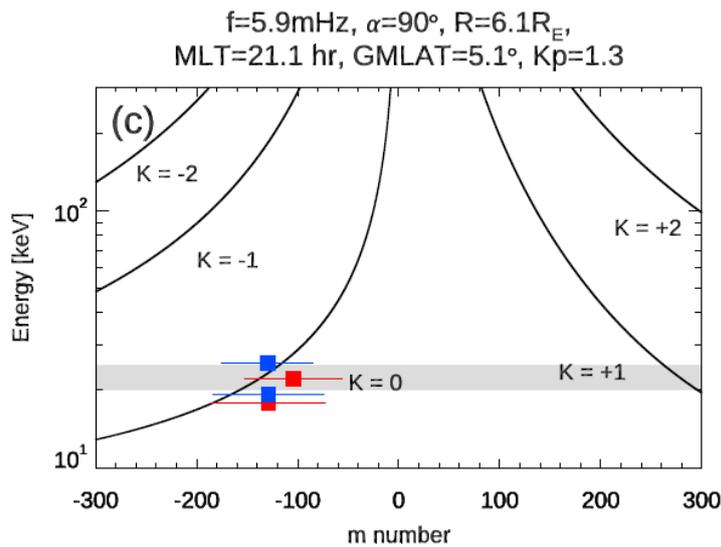


Рис. 2.2.5.1.1. Зависимость резонансной энергии от азимутального волнового числа m для различных гармоник K баунс-дрейфового резонанса. Цветные прямоугольники соответствуют наблюдавшимся значениям

Публикация:

Yamamoto K., Rubtsov A.V., Kostarev D.V., Mager P.N., Klimushkin D.Yu., et al. Direct evidence of drift-compressional wave generation in the Earth's magnetosphere detected by Arase // Geophysical Research Letters. 2024. Vol. 51, e2023GL107707. DOI: 10.1029/2023GL107707.

2.2.5.2. Баллонная неустойчивость в магнитосфере Земли: влияние конечной радиальной длины волны

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — А.В. Петрашук, д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин, к.ф.-м.н. П.Н. Магер.

Исследованы условия развития баллонной неустойчивости в дипольной магнитосфере Земли. Главным условием для ее развития является быстрое изменения давления плазмы с расстоянием от Земли. Установлено, что неустойчивость развивается за счет сцепления альфвеновских и медленных магнитозвуковых мод. Порог неустойчивости, т. е. взаимосвязь между параметром β_{eq} и обратным радиальным градиентом давления плазмы H , зависит от радиальной компоненты волнового вектора k_r . Показано, что баллонная неустойчивость способна развиваться либо при малом β_{eq} , но большом H , либо, наоборот, при очень большом β_{eq} , но малом H .

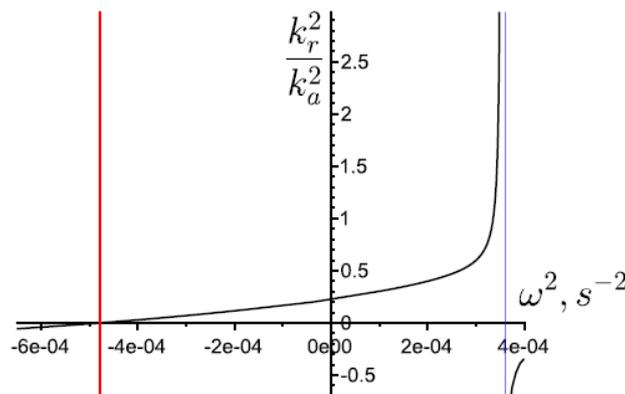


Рис. 2.2.5.2.1. Зависимость отношения радиальной и азимутальной компонент волнового вектора от квадрата частоты для медленного магнитного звука в дипольной модели магнитосферы

Публикации:

Petrashchuk A.V., Mager P.N., Klimushkin D.Yu. Ballooning instability in the dipole magnetosphere: The finite transverse wavelength influence // Phys. Plasmas. 2024. Vol. 31. DOI: 10.1063/5.0187408.

Петрашук А.В., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Баллонная неустойчивость и условия для ее развития в магнитосфере Земли // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: труды. Иркутск, 2024. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-192.

2.2.5.3. Радарные наблюдения волны, генерированной суббуравой инжекцией: подтверждение теории движущегося источника

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Челпанов, к.ф.-м.н. П.Н. Магер.

На основе данных радара SuperDARN в Ханкасалми (НАН, Финляндия) и данных магнитометров IMAGE проведен анализ УНЧ-волны, распространявшейся на восток в послеполуночном секторе. Азимутальное волновое число m определено в пределах 16–21 (в диапазоне промежуточных значений), волна взаимодействовала с облаком заряженных электронов. Одновременно в данных радара наблюдалась область потери высокочастотного сигнала, которая может быть связана с распространением волны. Особенностью волны являлась смена направления широтного распространения фазы в период наблюдения. Это явление естественно интерпретируется с позиций теории движущегося источника (облака электронов, инжектированных во время суббури), развитой в ИСЗФ.

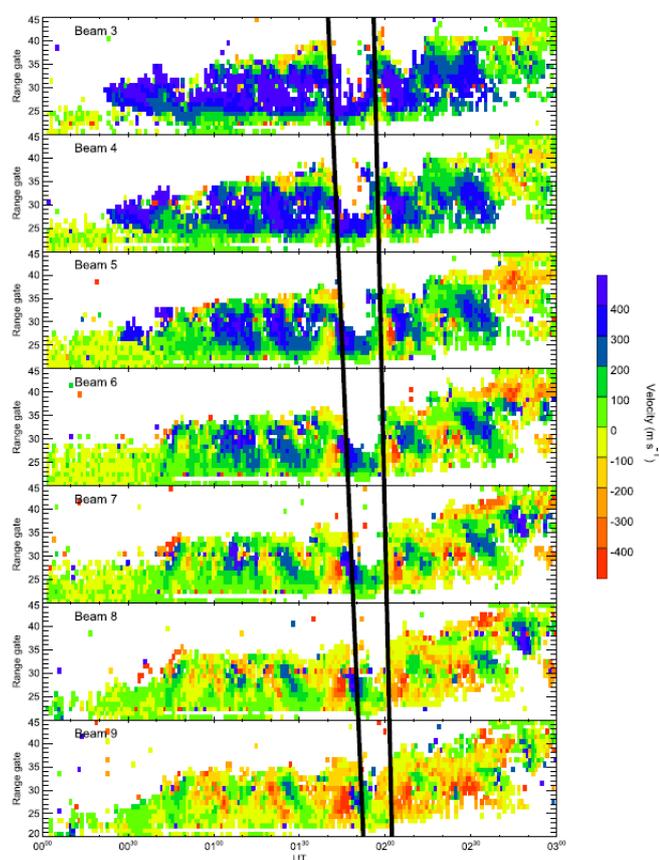


Рис. 2.2.5.3.1. Скорость вдоль лучей 3–9 радара SuperDARN НАН. Черными линиями отмечена перемещающаяся область потери высокочастотного сигнала

Публикации:

Michael C.M., Yeoman T.K., Wright D.M., Chelpanov M.A., Mager P.N. Evolving phase propagation in an intermediate- m ULF wave driven by substorm-injected particles // J. Geophys. Res. 2024. Vol. 129, e2023JA031654. DOI: 10.1029/2023JA031654.

2.2.5.4. Исследование динамики бесстолкновительных сферических звездных систем с использованием матричного метода

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. И.Г. Шухман.

Показано, что в качестве тестового возмущения для контроля корректности кодов и точности вычислений при численном исследовании сферических звездных моделей следует использовать точное аналитическое решение возмущенных уравнений звездной динамики (т. е. бесстолкновительного уравнения Больцмана плюс уравнения Пуассона), существующее во всех эргодических моделях бесстолкновительных сферических звездных систем, в описании функций распределения которых содержится единственный параметр длины ℓ . Данное решение соответствует вариациям этого параметра, т. е. растяжению/сжатию сферы при сохранении полной массы. Это возмущение представляет собственную моду системы, названную нами масштабно-инвариантной (или дилатационной) модой. При этом система остается в равновесном состоянии, т. е. соответствует собственной частоте колебаний ω , равной нулю. Возможность использовать данную моду в качестве теста обусловлена ее простотой, позволяющей аналитически найти возмущение функции распределения звезд во всех порядках теории возмущений.

Публикация:

Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Exploring the dynamics of collisionless spherical stellar systems using the matrix method: Insights from the dilation mode // Astron. Astrophys. 2024. Vol. 684, A58. DOI: 10.1051/0004-6361/202348556.

2.2.5.5. Распространение альфвеновских волн в стационарном неоднородном течении плазмы

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. С.М. Чурилов.

В приближении идеальной магнитной гидродинамики рассмотрена одномерная задача о распространении линейных альфвеновских волн в стационарном неоднородном течении плазмы вдоль прямого однородного магнитного поля. Найдены четыре семейства течений, в которых обе волны произвольной формы, ускоренная и замедленная течением, могут распространяться независимо друг от друга, т.е. без отражения. Показано, что в двух семействах течений обе волны имеют аналогичную структуру, а в двух других семействах их структуры существенно различаются.

Публикация:

Churilov S.M. Traveling Alfvén waves in inhomogeneous plasma flows along magnetic field // Physics of Fluids. 2024. Vol. 36, no. 8, 087166. DOI: 10.1063/5.0223591.

2.2.5.6. Распространение волн в неоднородной среде, движущейся с изменяющейся в пространстве скоростью

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. С.М. Чурилов.

Рассмотрены два аспекта распространения волн в неоднородной среде, движущейся с изменяющейся в пространстве скоростью. Во-первых, проанализирована взаимная трансформация волн, распространяющихся по течению и против него. В докритических течениях со скоростью U , меньшей, чем локальная скорость распространения волн относительно среды c , этот процесс известен как отражение. В сверхкритических течениях с $U > c$ это проявляется, как одновременное усиление волн положительной и отрицательной энергии. Наиболее интересным явлением в таком случае является трансформация волн в течениях, которые переходят из докритического режима в сверхкритический и обратно. Во-вторых, мы выявили и исследовали такие неоднородные течения, которые допускают независимое распространение волн, бегущих по потоку и против него, — так называемые безотражательные течения. В последнем случае энергия переносится волнами в пространстве без потерь, что, в зависимости от ситуации, может иметь как положительные, так и отрицательные последствия.

Публикации:

Churilov S.M., Stepanyants Yu.A. Long wave propagation in canals with spatially varying cross-sections and currents // *Nonlinear and Modern Mathematical Physics* / Ed. S. Manukure and Wen-Xiu Ma. Springer, 2024. P. 19–79. DOI: 10.1007/978-3-031-59539-4_2. (Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, Vol. 459).

Churilov S.M. Nonreflecting propagation of internal waves in an exchange flow of a shallow two-layer medium in a channel with a variable cross section // *Izvestiya, Atmos. Ocean. Phys.* 2024. Vol. 60. P. 351–367. DOI: 10.1134/S0001433824700427.

2.2.5.7. Исследование влияния космической погоды на трубопроводы в высоких широтах

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — к.ф.-м.н. Д.А. Костарев.

При организации систем катодной защиты трубопроводов необходимо иметь возможность рассчитывать вариации потенциала труба–земля при геомагнитных возмущениях. С этой целью авторами разработан программный код для расчета потенциала трубопровода при заданном возмущении электротеллурического поля в поверхностных слоях Земли. В качестве примера проведены оценки искажения потенциала почва–труба при суббуре, имевшей место 9 октября 2018 г. Используются база данных магнитных станций в Российской Арктике и глобальная модель проводимости поверхностных слоев Земли. Возмущение теллурического поля построено с помощью пересчета зарегистрированного магнитного возмущения в амплитуду теллурического поля по импедансному соотношению. Модельная трубопроводная сеть представлена в виде набора эквивалентных схем замещения, которые объединяются между собой для формирования узловой сети проводимости. При помощи метода узловой матрицы полной проводимости определены значения потенциала в узлах трубопроводной системы.

Публикация:

Костарев Д.В., Пилипенко В.А., Козырева О.В. Влияние космической погоды на трубопроводы в высоких широтах // *Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде»*. XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: труды. Иркутск, 2024. С. 160–162. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-160.

2.2.5.8. Исследование свойств и структуры излучений ионосферного альфвеновского резонатора

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

Проведено сравнение свойств и структуры излучений ионосферного альфвеновского резонатора (ИАР) по результатам одновременных наземных магнитных наблюдений на средних и высоких широтах. Используются данные трех станций: двух среднеширотных MND (Монды) и UZR (Узур) и одной высокоширотной IST (Исток), расположенной в авроральной зоне. Выявлены существенные различия между структурой волн на средних и высоких широтах, хотя спектральные характеристики в этих двух регионах почти не отличаются. С учетом того, что на верхней границе резонатора всегда имеется узел магнитного поля волны, соотношение частот однозначно определяет форму волны каждой гармоники. На средних широтах частоты последовательного ряда гармоник пропорциональны ряду нечетных чисел 1:3:5... Это означает, что на нижней границе резонатора устойчиво формируется пучность магнитного поля волны независимо от проводимости нижней ионосферы, поскольку отражающей поверхностью является земная кора. На высокой широте авроральной станции складывается неопределенная ситуация: отсутствуют какие-то определенные устойчивые соотношения между частотами первых трех гармоник. Высказано предположение о сильной горизонтальной неоднородности высокоширотной ионосферы в виде совокупности доменов с размерами 10–100 км как о причине наблюдаемой волновой структуры гармоник ИАР в авроральной области.

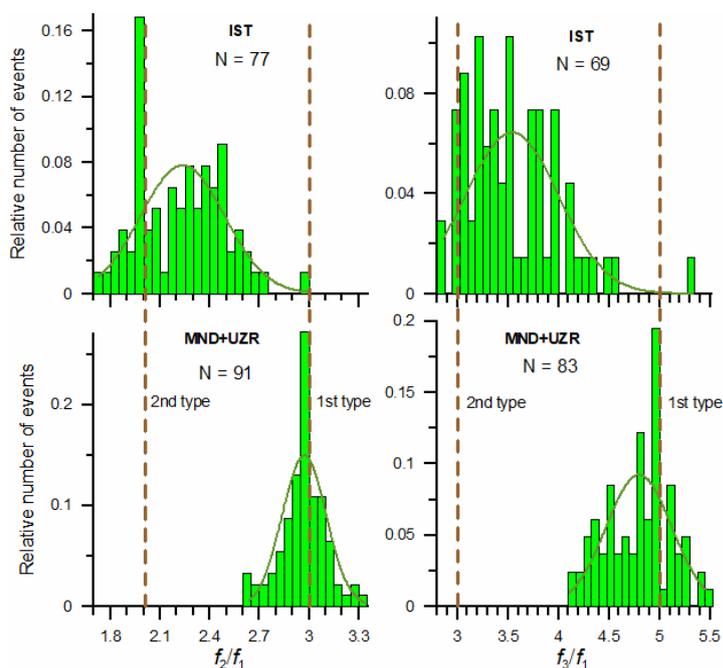


Рис. 2.2.5.8.1. Гистограммы распределений относительного числа событий по отношениям частот гармоник f_2/f_1 и f_3/f_1 : нижний ряд — на среднеширотных станциях MND и UZR; верхний ряд — на высокоширотной станции IST; N — число событий, на основе которых было построено распределение

Публикация:

Potapov A. Comparison of the wave structure of IAR emission in the mid-latitude and auroral regions // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2024. Vol. 62, 2002606. DOI: 10.1109/TGRS.2024.3368032.

2.2.5.9. Исследование пондеромоторного разделения ионов с различным отношением заряда к массе под воздействием альфвеновских волн

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

Ставится задача пондеромоторного разделения ионов с различным отношением заряда к массе под действием альфвеновских волн, которые постоянно существуют в магнитосфере в виде геомагнитных пульсаций. Выведены формулы для парциальных пондеромоторных сил, действующих на легкие и тяжелые (металлические) ионы. В квазигидродинамическом приближении получено, что число Кларка, характеризующее металличность плазмы, максимально в минимуме магнитного поля на силовой линии, вдоль которой распространяется альфвеновская волна.

Публикации:

Guglielmi A.V., Potapov A.S., Feygin F.Z. On ponderomotive metallization of magnetospheric plasma // arXiv:2402.03364 [physics.plasm-ph]. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2402.03364.

Guglielmi A.V., Feygin F.Z., Potapov A.S. On ponderomotive redistribution of heavy ions along a magnetic field line // Solar-Terrestrial Physics. 2024. Vol. 10, iss. 4. DOI: 10.12737/stp-104202402.

2.2.5.10. Исследование спектра УНЧ-колебаний ионосферы в диапазоне Pc1

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

Рассмотрена структура ионосферного резонатора Альфвена (Ionospheric Alfvén Resonator, IAR). В IAR возбуждаются ультранизкочастотные колебания в диапазоне Pc1 (0.2–5 Гц). При вычислении спектра колебаний в рамках стандартной модели предполагается, что IAR — это автономная динамическая система. В отличие от этого в представленной статье IAR рассматривается как специфическая подсистема общей системы альфвеновских колебаний геомагнитных силовых линий. Другими словами, авторы исходят из представления о том, что IAR не является автономной колебательной системой. Задача о спектре IAR обсуждается в рамках общей задачи о спектре магнитогидродинамических колебаний магнитосферы Земли. Сформулирована соответствующая задача Штурма — Лиувилля. Аналитические решения задачи рассмотрены в приближении Вентцеля — Крамера — Бриллюэна. Указано на необходимость численного решения задачи о спектре IAR ввиду довольно сложного распределения скорости Альфвена вдоль геомагнитных силовых линий.

Публикация:

Guglielmi A.V., Klain B.I., Potapov A.S. On the spectrum of ultralow-frequency oscillations of the ionosphere in the Pc1 range // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2024. Vol. 60, no. 4. P. 736–741. DOI: 10.1134/S1069351324700708.

2.2.5.11. Определение радиальной структуры альфвеновских волн методом фазового портрета

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — к.ф.-м.н. Д.А. Козлов, А.А. Власов.

С помощью метода фазовых портретов, основанного на анализе поведения компонент магнитного поля монохроматических колебаний и разности фаз поперечных компонент, исследована радиальная структура квазимонохроматических альфвеновских колебаний, наблюдаемых на спутнике RBSP-A 23 октября 2012 г. в 22:00–22:30 UT. Подтверждена ранее предложенная гипотеза, что наблюдаемые колебания являются полоидальными резонансными альфвеновскими колебаниями, возбуждаемыми на резонансных полоидальных поверхностях, расположенных в окрестности локального максимума распределения собственных полоидальных частот. Вдоль силовых линий такие колебания представляют собой фундаментальную гармонику стоячих волн, а в радиальном направлении имеют вид волн, бегущих в противоположных направлениях к соответствующим торoidalным резонансным поверхностям.

Публикация:

Kozlov D.A., Leonovich A.S., Vlasov A.A. Determining the radial structure of high-m Alfvén wave by means of the “phase portrait” method // *Advances in Space Research*. 2024. Vol. 73, no. 1. P. 624–631. DOI: 10.1016/j.asr.2023.08.009.

2.2.5.12. Исследование генерации геомагнитных пульсаций Pc4–5 потоками энергичных частиц в дневной магнитосфере

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — Е.Е. Смотрова, к.ф.-м.н. О.С. Михайлова, к.ф.-м.н. П.Н. Магер.

В работе представлен анализ наблюдения серии ультранизкочастотных (УНЧ) волн по данным спутника Van Allen Probe A. Событие наблюдалось 15 февраля 2014 г. на дневной стороне магнитосферы. Были зарегистрированы колебания двух типов: первый — компрессионная УНЧ-волну с частотой около 2 МГц и амплитудой около 3 нТл, второй — альфвеновская волна на частоте около 6.5 МГц. Показано, что компрессионная волна была сгенерирована дрейфовым резонансом с электронами на энергии около 90 кэВ, а полоидальная волна — баунс-дрейфовым резонансом с потоками протонов с энергией около 150 кэВ. Были определены параметры наблюдаемых волн, а также механизм их генерации.

Публикация:

Смотрова Е.Е., Михайлова О.С., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Генерация геомагнитных пульсаций Pc4–5 потоками энергичных частиц в дневной магнитосфере // *Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде»*. XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: труды. Иркутск, 2024. С. 214–216. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-214.

2.2.5.13. Исследование экваториального резонатора для волн диапазона Pc1 в магнитосфере

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.С. Михайлова, к.ф.-м.н. П.Н. Магер.

Показано существование приэкваториального резонатора для ионно-ионных гибридных мод на примере события жемчужин Pc1, наблюдавшихся зондом Van Allen Probe A 14 июля 2014 г. Наблюдались пульсации Pc1 с частотами от 0.9 до 1.3 Гц. Частота пульсаций была чуть выше гирочастоты гелия. Во время этого события мы обнаружили высокие концентрации гелия и кислорода. Отношение плотности гелия к плотности протонов составляло около 1, а плотности кислорода к плотности протонов — выше 10. Из теории из-

вестно, что из-за примеси тяжелых ионов в плазме магнитосферы может образоваться резонатор в верхней части магнитной силовой линии. Мы получили, что рассчитанные собственные частоты приэкваториального резонатора соответствуют наблюдаемым частотам.

Публикация:

Михайлова О.С., Магер П.Н. Экспериментальное доказательство существования экваториального резонатора для волн диапазона Pc1 в магнитосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: труды. Иркутск, 2024. С. 177–179. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-177.

2.2.5.14. Динамика продольных токов зоны 1 Ииджимы — Потермы в период стационарной магнитосферной конвекции по данным техники инверсии магнитограмм

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — В.Э. Капустин, С.Б. Лунюшкин, к.г.-м.н. Ю.А. Караваев, к.ф.-м.н. Ю.В. Пенских, д.ф.-м.н. В.В. Мишин.

Представлено исследование интенсивностей крупномасштабных пространственных распределений дневных и ночных продольных токов (ПТ), полученных на основе техники инверсии магнитограмм (ТИМ) в период стационарной магнитосферной конвекции (SMC) 24 сентября 1998 г. Количественно-качественный анализ показал, что в ходе SMC наблюдалось монотонное усиление и квазиравенство между дневными и ночными интенсивностями ПТ зоны 1, при этом рост интенсивности дневных ПТ начался во время слабой суббури, случившейся перед началом SMC, а перед окончанием SMC наблюдался общий спад интенсивностей ПТ зоны 1.

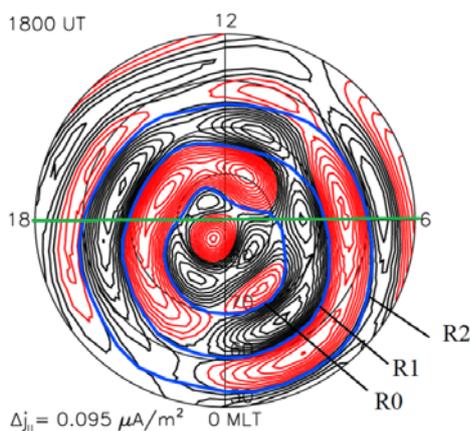


Рис. 2.2.5.14.1. Распределение плотности продольных токов для 18:00 UT 24.09.1998 по данным ТИМ: красные изолинии — вытекающий ПТ, черные — втекающий ПТ, синие линии — границы зон ПТ, зеленая линия — меридиан утро–вечер

Публикация:

Капустин В.Э., Лунюшкин С.Б., Караваев Ю.А., Пенских Ю.В., Мишин В.В. Динамика продольных токов зоны 1 Ииджимы — Потермы в период стационарной магнитосферной конвекции по данным техники инверсии магнитограмм // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: труды. Иркутск, 2024. С. 154–156. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-154.

2.2.5.15. Выполнимость условия вмороженности в магнитосферных возмущениях

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — Д.А. Шубин, к.ф.-м.н. А.В. Рубцов, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Проведено статистическое исследование выполнимости условия вмороженности плазмы в магнитное поле с использованием данных зонда А миссии THEMIS за март 2017 г. Были обнаружены случаи, когда электрическое поле совпадает с произведением скорости и магнитного поля как по фазе, так и по амплитуде, однако чаще наблюдаются случаи, когда этого совпадения нет. Таким образом, применять условие вмороженности при исследовании возмущений в магнитосфере следует с осторожностью, поскольку вероятной причиной несовпадения может являться большая значимость кинетических факторов.

Публикация:

Шубин Д.А., Рубцов А.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Выполнимость условия вмороженности в магнитосферных возмущениях: анализ данных THEMIS-A // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: труды. Иркутск, 2024. С. 238–240. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-238.

2.2.5.16. Структура коронального выброса массы в межпланетном пространстве

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.В. Рубцов, к.ф.-м.н. С.А. Анфиногентов.

Представлено уникальное наблюдение фронтов повышенной яркости на длине волны 304 \AA на фоне Земли по данным спутника IMAGE. Выдвинуто предположение, что эти фронты являются отображением ударной волны коронального выброса массы (КВМ), произошедшего на Солнце несколькими днями ранее. Факт прохождения КВМ также подтверждается данными спутников ACE и Wind вблизи точки $L1$. Анализ данных спутника IMAGE показал, что настоящий случай является единственным примером подобных наблюдений на длине волны 304 \AA в 2000–2005 гг.

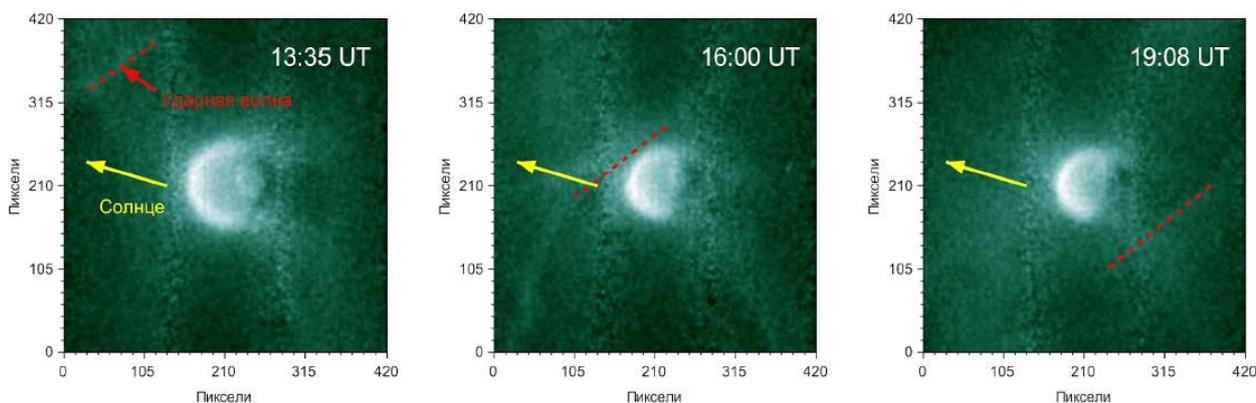


Рис. 2.2.5.16.1. Изображения с камеры IMAGE/EUV в 13:35, 16:00 и 19:08 UT 09.01.2005 г.: оттенки зеленого — яркость после коррекции плоского поля и сжатия динамического диапазона; красная штриховая линия — приблизительное положение ударной волны КВМ; жёлтая стрелка — направление на Солнце в плоскости изображения

Публикация:

Рубцов А.В., Анфиногентов С.А. Структура коронального выброса массы в межпланетном пространстве: анализ данных IMAGE/EUV // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»: труды. Иркутск, 2024. С. 77–79. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-77.

2.2.5.17. Исследование среднеширотных вспышек пульсаций PiB

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — Р.А. Марчук, д.ф.-м.н. В.В. Мишин, д.ф.-м.н. А.В. Михалев, к.ф.-м.н. Ю.В. Пенских.

Исследовались всплески широкополосных пульсаций (PiB) и атмосферное свечение по данным среднеширотных обсерваторий ИСЗФ СО РАН при суббуревых активизациях во время сильных магнитосферных бурь. Обнаружены резкие пульсации в короткопериодическом диапазоне Pi1B не только тогда, когда граница области полярных сияний и выровненных по полю течений проходила вблизи Иркутска, но и тогда, когда граница находилась на расстоянии до 10° к северу. Ранее мы связывали такие события с резкими импульсами атмосферного давления солнечного ветра P_d и/или с быстрыми, вызванными суббурями изменениями продольных токов во время супербурь. В этой работе мы описываем такие взрывные явления, наблюдавшиеся во время пилообразных суббурь в ходе двух бурь. Обсуждается возможность периодических активизаций суббури из-за глобальной неустойчивости хвоста магнитного поля и возбуждения ночного резонатора Альфвена. Мы предлагаем и тестируем методику определения времени наступления взрывной фазы суббури по началу всплеска спектральной мощности пульсаций Pi1B.

Публикация:

Mishin V.V., Klibanova Yu.Yu., Marchuk R.A, Mikhalev A.V., Pensikh Y.V. Midlatitude bursts of PiB geomagnetic pulsations and night airglow during stormtime sawtooth events // Adv. Space Res. 2024. Vol. 73, iss. 7. P. 3708–3721. DOI: 10.1016/j.asr.2023.06.032.

2.2.5.18. Исследование нерезонансного затухания Ландау в сдвиговых слоях

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — д.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Автор результата — д.ф.-м.н. И.Г. Шухман.

Проанализирована динамика затухания малых двумерных возмущений в устойчивых плоско-параллельных невязких сдвиговых течениях. Показано, что в случае простейших сдвиговых течений с профилем скорости $V_x = U(y) = y + \beta y^3$, $\beta > 0$ (т. е. с точкой перегиба, но устойчивых, согласно теореме Фьортофта) в канале шириной $2a$ реальная часть комплексной фазовой скорости $\text{Re}[c_L(k)]$ волновых возмущений может лежать за пределами возможных скоростей жидкости в потоке, или, что то же самое, допустимого диапазона скоростей мод ван Кампена. Это обстоятельство демонстрирует нерезонансный механизм затухания этих мод. Факт оказался совершенно неожиданным, поскольку он противоречит классической интерпретации механизма затухания Ландау, опирающейся на представление о резонансном взаимодействии волны с жидкими частицами (или частицами в плазме), имеющими скорость, близкую к фазовой скорости волны. Однако в рассматриваемом примере (при некоторых значениях волнового числа k) в течении вообще нет жидких частиц со скоростью, близкой к фазовой скорости волны. Чтобы убедиться в корректности этого вывода, был выполнен расчет эволюции возмущенной завихренности $\zeta(y, t)$ с помощью как непосредственного решения эволюционного уравнения для завихренности, так и

разложения начального возмущения по модам ван Кампена. Оба эти подхода показали полную идентичность результатов. Затухание Ландау полной завихренности поперек течения представляет собой промежуточную стадию перед переходом к финальной стадии степенного затухания.

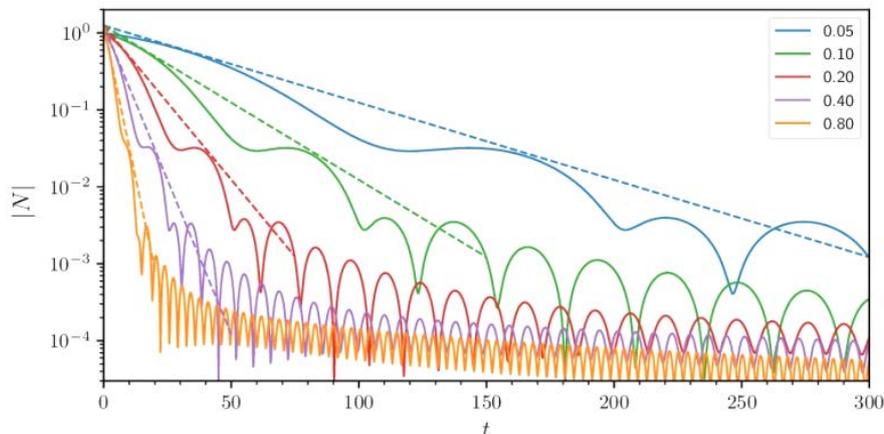


Рис. 2.2.5.18.1. Эволюция абсолютной величины полной завихренности поперек течения $|N(t)| = |\int \zeta(y, t) dy|$ при различных значениях волнового числа k для начальной завихренности $\zeta(y, 0)$ в форме гауссовской функции. Кривые для $k = 0.4$ и $k = 0.8$ соответствуют фазовой скорости, лежащей вне диапазона скоростей течения. Начальная стадия (штриховые линии) — экспоненциальное затухание (затухание Ландау), финальная стадия — степенное затухание

Публикация:

Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Damped perturbations in inviscid shear flows: Non-resonant Landau damping in stable inflectional flows // Physics of Fluids. 2024. Vol. 36, iss. 9. 094105. DOI: 10.1063/5.0220210.

2.2.6. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля

2.2.6.1. Колебания скорости корональных выбросов массы и связанной с ними ударной волны: сравнительный анализ

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.Г. Файнштейн, к.ф.-м.н. Я.И. Егоров.

В ряде работ сделан вывод, что скорость корональных выбросов массы (КВМ) меняется со временем не монотонно, а совершает колебания (рис. 2.2.6.1.1). Известно, что в поле зрения коронографа впереди достаточно быстрых КВМ регистрируется ударная волна (УВ). Для выборки из 16 КВМ и УВ, связанных с КВМ, изучены особенности движения не только КВМ, но и связанной с ним УВ. Обнаружено, что скорость УВ также совершает колебания. При этом характеристики движения КВМ (амплитуда и период колебаний) и связанной УВ заметно различаются. Во всех случаях было обнаружено, что амплитуда колебаний скорости УВ больше, чем связанного КВМ. Предложен физический механизм, объясняющий этот эффект. Установлено, что существует положительная корреляция между амплитудой колебаний каждой рассмотренной структуры короны и линейной скоростью этой структуры.

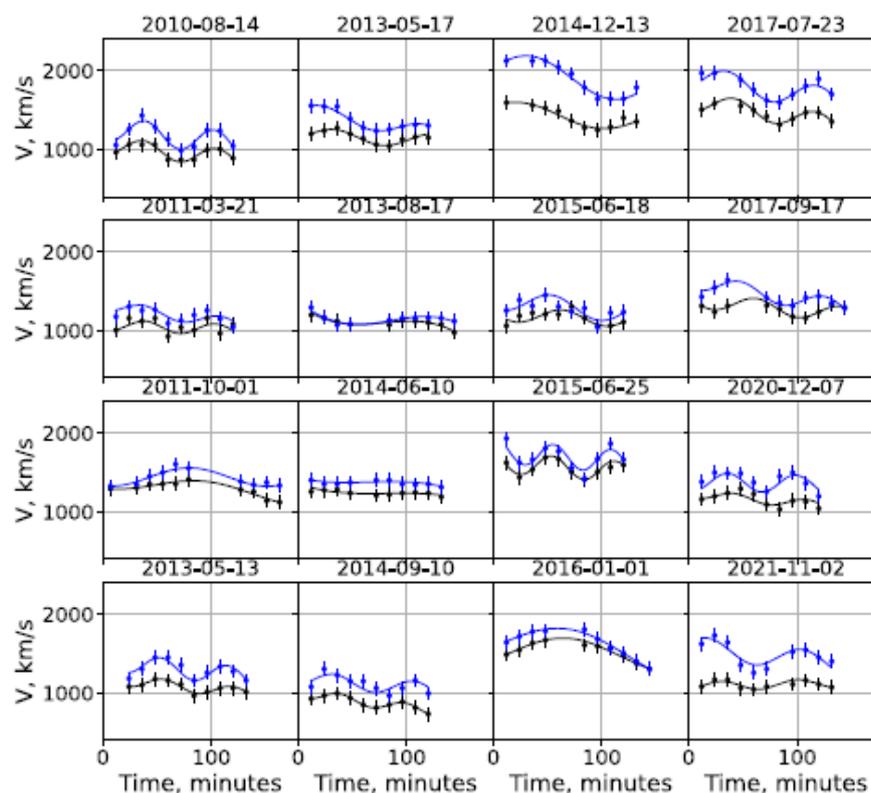


Рис. 2.2.6.1.1. Изменение со временем скорости КВМ (черные точки с барами, характеризующие ошибку измерения скорости, нижние кривые) и скорости ударной волны (голубые точки с барами, верхние кривые). Сплошные линии показывают изменение скорости двух структур, полученные с помощью формулы $v(t) = a_0 \sin(a_1 t + a_2) + a_3 + a_4 t$, где a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 — параметры задачи, которые находятся методом наименьших квадратов.

Публикация:

Fainshtein V.G., Egorov Y.I. Velocity oscillations in CME and related shock: a comparative analysis // Solar Phys. 2024. Vol. 299, no. 9. DOI: 10.1007/S11207-024-02250-W.

2.2.6.2. Изучение внезапного начала магнитной бури по наблюдениям с секундным временным разрешением

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. Загайнова Ю.С.¹, к.ф.-м.н. Громов С.В.¹, д.ф.-м.н. Громова Л.И.¹, д.ф.-м.н. Файнштейн В.Г.²

¹ ИЗМИРАН, Москва, Россия, ² ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

В работе представлены результаты исследования регистрации внезапного начала (SC) и главного импульса (MI) магнитной бури как функций географических координат магнитных обсерваторий и всемирного времени с использованием для анализа современных данных с секундным разрешением. Анализ проведен для двух событий, в которых межпланетная УВ, воздействующая на магнитосферу, связана с межпланетными КВМ с источниками в разных полусферах Солнца. Предложен авторский подход к определению моментов времени регистрации SC и MI. Получено, что время их регистрации может различаться от нескольких секунд до >1 мин в магнитных обсерваториях, расположенных на разных географических широтах и долготах. Для исследуемых событий на графиках регистрации SC и MI как функций географических координат магнитных обсерваторий и всемирного времени обнаружены тренды, согласно которым в среднем, чем выше широта станции, тем позже регистрируются SC и MI на станции (рис. 2.2.6.2.1).

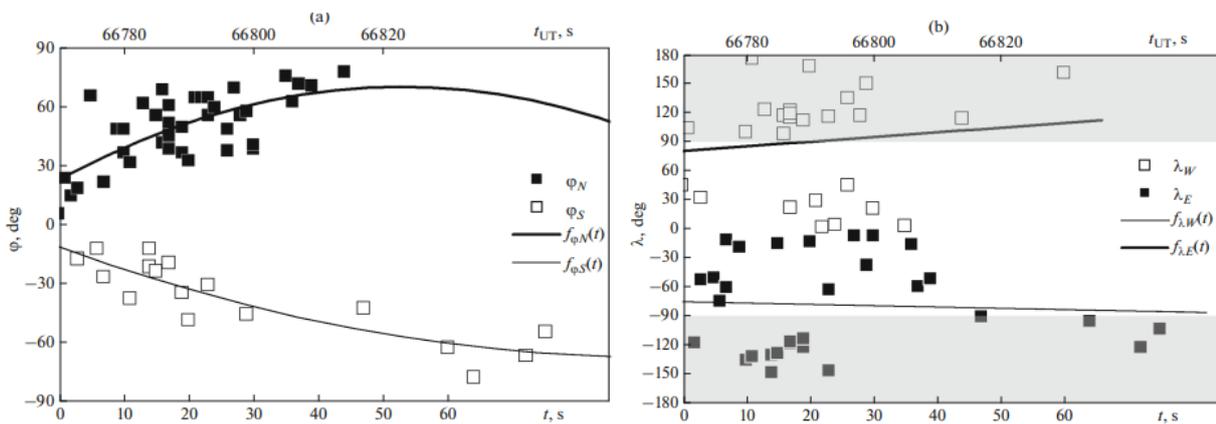


Рис. 2.2.6.2.1. Регистрация внезапного начала как функция (а) географической широты φ и (б) долготы относительной полуденной линии λ для события 22 июня 2015; t , [с] — время, отсчитываемое от начала регистрации на первой станции из списка КОУ; t_{UT} — всемирное время, [с] от начала суток На панели (б) заштрихованы области значений λ , соответствующие станциям на ночной стороне Земли.

Публикация:

Zagainova, Yu.S. Gromov S.V., Gromova L.I., Fainshtein V.G. Study of sudden magnetic storm commencement from observations with second time resolution // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 3. P. 313–328. DOI: 10.1134/S0016793224600152Y.

2.2.6.3. Влияние взрывных процессов в активных областях на характеристики магнитного поля в тени солнечных пятен в зависимости от их размеров и положения

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. Загайнова Ю.С.¹, д.ф.-м.н. Файнштейн В.Г.², д.ф.-м.н. Руденко Г.В.²

¹ ИЗМИРАН, Москва, Россия, ² ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

В серии работ авторов было показано, что взрывные процессы (ВП) в активных областях (АО) Солнца могут оказывать сильное влияние на характеристики магнитного поля в тени некоторых солнечных пятен в этих активных областях. К ВП отнесены солнечные вспышки и КВМ. Настоящая работа является первой в запланированной серии, где будут рассмотрены различные факторы, определяющие степень воздействия ВП на магнитное поле в тени пятен. Проведено исследование взрывного процесса 4 августа 2011 г. — вспышка M9.3 в АО NOAA 11261 (рис. 2.2.6.3.1) и КВМ с линейной проекционной скоростью 1315 км/с. Получено, что в наибольшей степени на характеристики магнитного поля в тени солнечных пятен влияет близость пятна к центру вспышки и малость размера пятен: маленькие пятна сильнее реагируют на ВП, чем большие (рис. 2.2.6.3.2). Обнаружено, что относительно большие пятна, удаленные от вспышки — источника ВП, — подвержены сильному влиянию ВП, если они магнитно-связаны с пятнами вблизи вспышки.

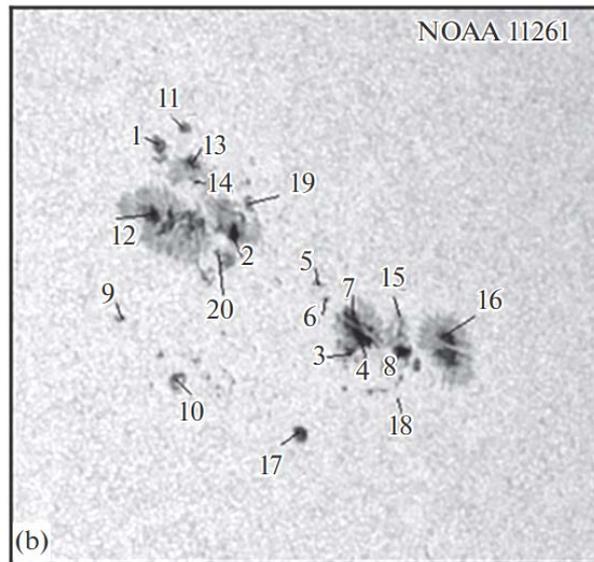


Рис. 2.2.6.3.1. Пятна АО NOAA 11261. Центр вспышки недалеко от пятна № 14 в пределах окружности радиусом примерно $10''$. К малым пятнам мы отнесли пятна с условными номерами S3, S5, S6, S9, S11, S14, S19 площадью меньше $S < 3$ МДП. К большим пятнам отнесены пятна S12 с площадью тени $S = 13$ МДП и S16 с $S = 10$ МДП. Степень влияния ВП на параметры магнитного поля в тени солнечных пятен мы характеризовали специальным параметром $P_r = \langle P_a \rangle / \langle P_b \rangle$. Значения параметров усреднялись в пределах трех часов до и после начала вспышки. $P_r > 30\%$ — сильное влияние ВП на поле в тени пятна. $P_r < 10\%$ — слабое влияние ВП.

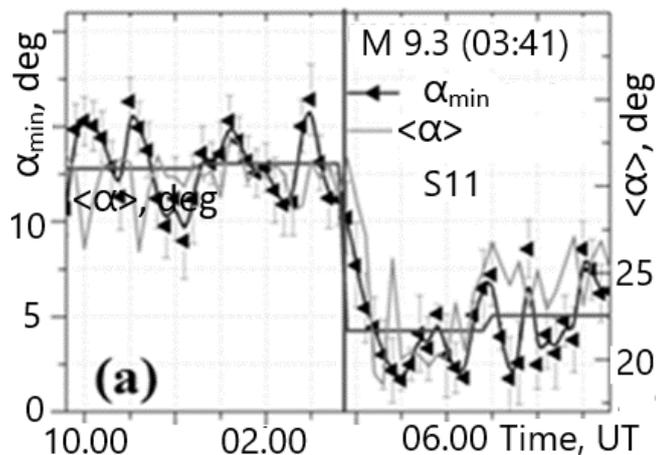


Рис. 2.2.6.3.2. Влияние взрывного процесса на углы между вектором магнитной индукции \mathbf{B} и положительной нормалью к поверхности Солнца \mathbf{n} в маленьком пятне № 11 вблизи центра вспышки.

Публикация:

Zagainova Yu.S., Fainshtein V.G., Rudenko G.V. The influence of explosive processes in active regions on the characteristics of the magnetic field in the umbra of sunspots depending on their size and position // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 8. P. 159–164. DOI: 10.1134/S001679322470049X.

2.2.6.4. Электромагнитное излучение из плазмы со встречными пучками электронов в режиме доминирования кривой неустойчивости

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. В.В. Анненков^{1,2}, Е.П. Волчок², д.ф.-м.н. И.В. Тимофеев².

¹ ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия, ² ИЯФ СО РАН, Новосибирск, Россия

Исследована возможность генерации электромагнитного излучения вблизи второй гармоники плазменной частоты при прохождении по плазме встречных электронных пучков в режиме доминирования косоугольной неустойчивости. Источником излучения является осциллирующее возмущение тока электронов, формирующееся при столкновении плазменных волн с различной поперечной структурой. С помощью 2D3V-моделирования методом частиц в ячейках показано, что эффективность конверсии мощности пучков в мощность излучения может достигать нескольких процентов, а возможность генерации излучения для данных параметров может быть оценена в рамках точной линейной теории пучково-плазменной неустойчивости. Рассматриваемый механизм генерации излучения может иметь место в любых системах с возможностью образования встречных потоков электронов и вносить вклад в радиоизлучение из различных источников.

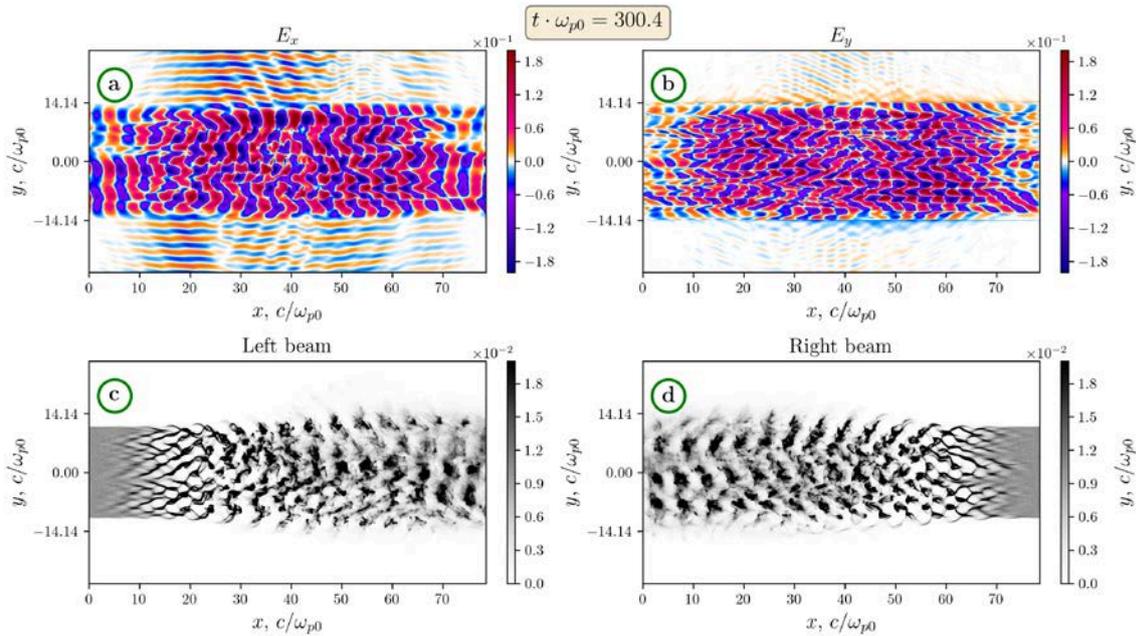


Рис. 2.2.6.4.1. Результаты 2D3V-моделирования методом частиц в ячейках генерации электромагнитного излучения при распространении в плазме двух электронных пучков в момент времени $\sim 300\omega_p^{-1}$. (a, b); E_x и E_y — электрические поля; плотности инжектируемых электронных пучков (c, d).

Публикация:

Annenkov V.V., Volchok E.P., Timofeev I.V. Electromagnetic emission from plasma with counter-streaming electron beams in the regime of oblique instability dominance // Phys. Plasmas. 2024. Vol. 31, no. 3. 033104. DOI: 10.1063/5.0190331.

2.2.6.5. Моделирование релаксации слабого электронного пучка в плазме солнечного ветра

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Автор результата — к.ф.-м.н. В.В. Анненков.

В работе представлена первая попытка моделирования динамики слабого пучка ($n_b=5 \cdot 10^{-4}n_0$, $v_b = 0.25 c$) в плазме с помощью реалистичной модели с открытыми граничными условиями и непрерывно инжектируемым электронным пучком на больших временах (до $10000 \omega_p^{-1}$) и с высоким разрешением вычислительной сетки. Используемый код и применяемые методы были ранее апробированы в исследованиях в связи с лабораторными пучково-плазменными экспериментами. Результаты, полученные в настоящей работе, имеют ряд существенных отличий от моделирования в приближении бесконечной плазмы.

Показано, что для рассматриваемых параметров пучково-плазменной системы возможно развитие модуляционной неустойчивости и формирование ярко выраженной продольной модуляции плотности. Такого рода возмущения плотности способствуют генерации излучения на первой и второй гармониках плазменной частоты по механизму пучково-плазменной антенны. Обнаружено, что при прохождении через плазму пучок в среднем теряет лишь 10 % своей начальной энергии, что обусловлено обменом энергией с ранее возбужденными плазменными колебаниями. Также наблюдается периодическое существенное ускорение частиц пучка.

Полученные результаты подчеркивают важность применения такой модели для исследования различных астрофизических проблем, в частности, солнечных радиовсплесков II и III типов. Модель может также представлять интерес для организаций и научных групп, занимающихся пучково-плазменными системами.

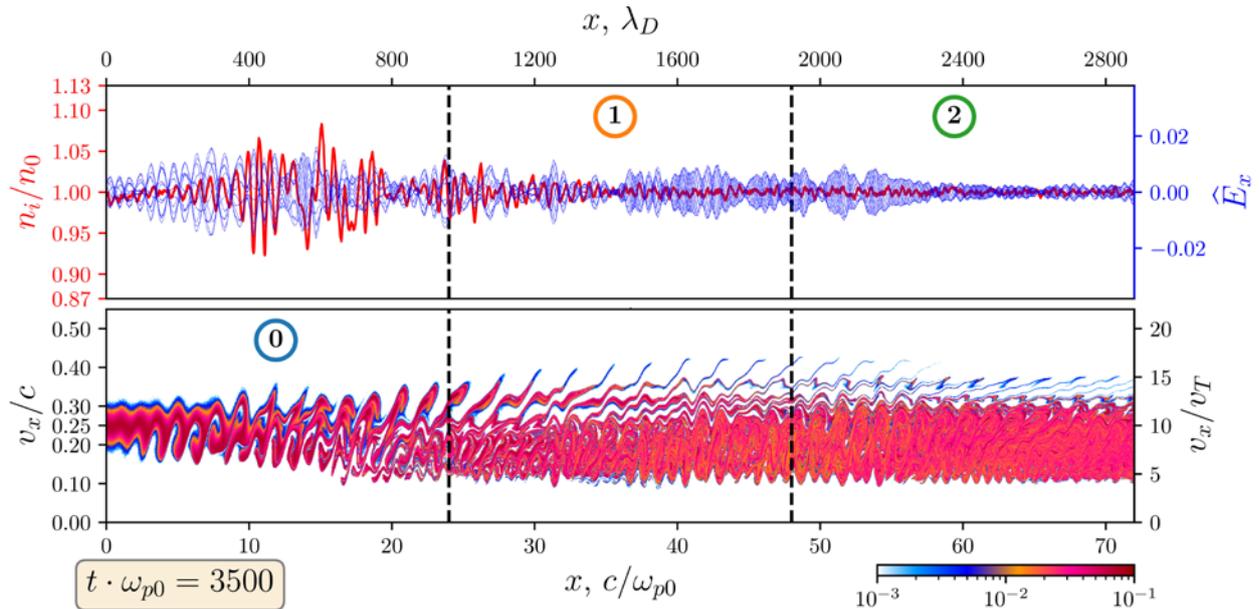


Рис. 2.2.6.5.1. Результаты моделирования инъекции пучка в плазму. Вверху — плотность ионов (красная линия), различные фазы одного колебания плазмы (синие линии); внизу — фазовое пространство $f(v_x, x)$ пучка.

Публикация:

Annenkov V.V. Simulating the relaxation of a weak electron beam in solar wind plasmas. Astronomy and Astrophysics. 2024. In print.

2.2.6.6. Разработка методов оперативного прогнозирования ПЭС на основе градиентного бустинга

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — Prof. D. Venkata Ratnam¹, PhD Suneetha Emmela¹, V. Rama Lahari¹, B. Anusha¹, D. Bhavana¹, д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич², д.т.н. В.В. Демьянов².

¹ Dept. of ECE, KLEF Deemed to be University, Vaddeswaram, Guntur (Dt), 522502, India

² ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

Прогнозирование ионосферного полного электронного содержания (ПЭС) с использованием машинного обучения является одним из передовых методов оценки характеристик пространственно-временных вариаций ионосферы. Предложено уже большое количество методов данного класса. Однако актуальность в их дальнейшей разработке и мо-

дернизации остается весьма высокой, поскольку в условиях геомагнитных возмущений ионосферная пространственно-временная динамика становится крайне сложной. В работе предложено несколько методов машинного прогнозирования ПЭС, в том числе на основе простого градиентного бустинга (Light Gradient Boosting Machine - LightGBM), экстремального градиентного бустинга (XGBoost) и регрессивного градиентного бустинга (GBR). Работа выполнена на большой статистике измерений, включающей два полных цикла (25 лет) солнечной активности (1997–2021 г.), на локальной японской сети ГНСС-приемников GEONET. При обучении в моделях использовались в качестве входных параметров индекс геомагнитной возмущенности Dst и индекс солнечной активности $Mg-II$. Результаты эксперимента показали, что модель LightGBM имеет лучшую точность прогнозирования ПЭС с среднеквадратической ошибкой ~ 2.25 TECU (2015 г. — год высокой солнечной активности) и 0.52 TECU (2020 г. — год низкой активности). Модели XGBoost и GBR обеспечивают прогнозирование ПЭС с погрешностями 2.76 и 2.59 TECU (2015 г.) и 0.60 и 0.55 TECU (2020 г.) соответственно (рис. 2.2.6.6.1).

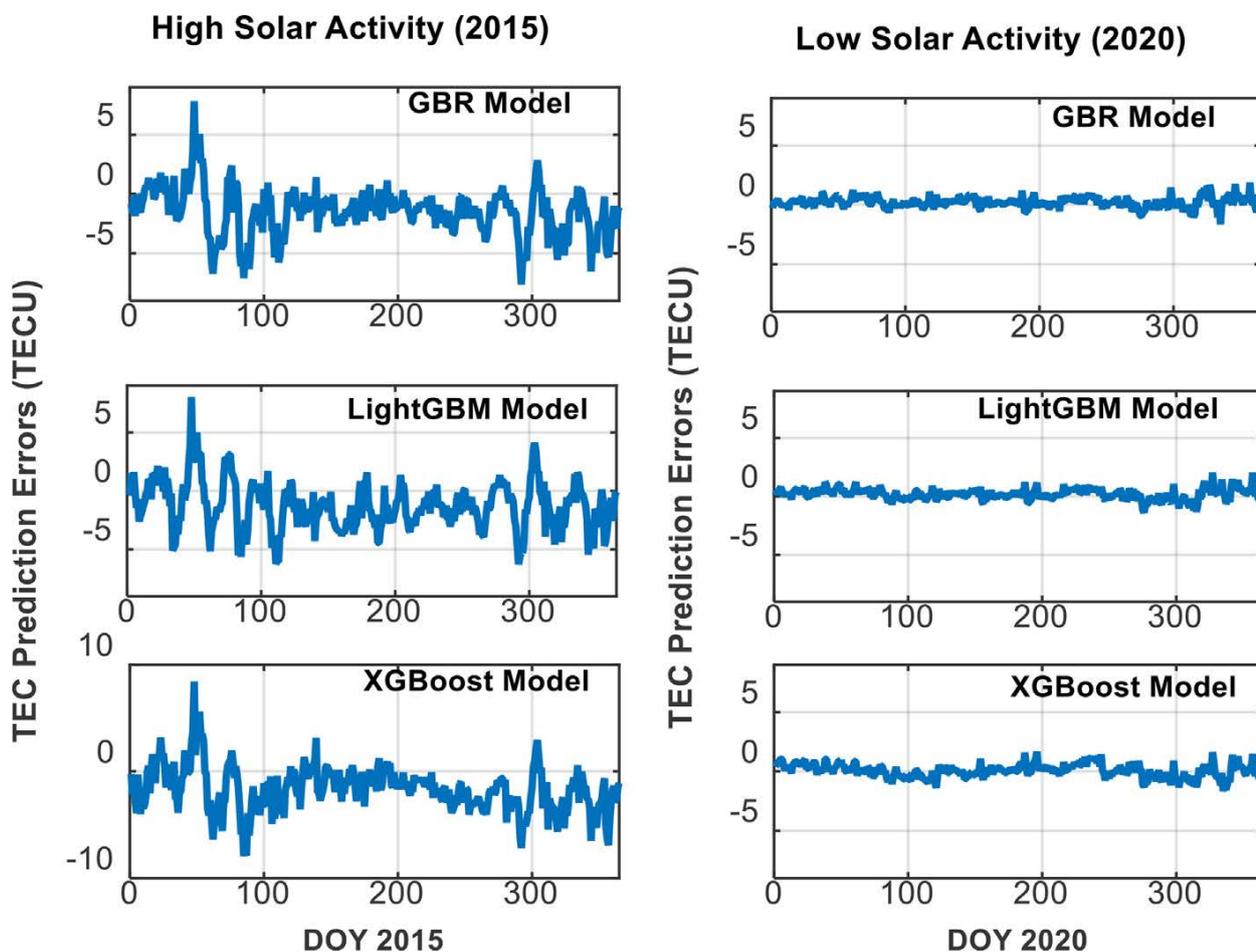


Рис. 2.2.6.6.1. Погрешности прогнозирования ПЭС во время высокой (2015 г.) и низкой (2020 г.) солнечной активности на основе моделей GBR, lightGBM и XGBoost

Публикация:

Emmela S., Rama Lahari V., Anusha B., Bhavana D., Yasyukevich Y.V., Demyanov V.V., Venkata Ratnam D. Global ionospheric total electron content short-term forecast based on Light Gradient Boosting Machine, Extreme Gradient Boosting, and Gradient Boost Regression // Adv. in Space Res. 2024. Vol. 74, no. 8. P. 3642–3653. DOI: 10.1016/j.asr.2024.07.012.

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

2.3.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента

2.3.1.1. Разработка узкополосного интерференционно-поляризационного фильтра (ИПФ) с полушириной полосы пропускания 0.15 \AA на линию К CaII

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

На базе конструктива фильтра ИПФ КCaII ($\lambda 3934 \text{ \AA}$) фирмы Bernhard Halle Nachfl. GmbH (Германия) с полушириной полосы пропускания 0.3 \AA был разработан ИПФ с полушириной полосы 0.15 \AA (рис. 2.3.1.1.1). Изготовлены предварительный интерференционный фильтр (ИФ) с полосой пропускания 40 \AA и поляризационные ступени (фазовые пластинки, поляризаторы), сужающие полуширину полосы пропускания. Выполнены сборка на оптической иммерсии около сотни пластинок ИПФ, их кристаллографическая ориентация и настройка полосы пропускания регулируемых ступеней фильтра. Контур полосы пропускания ИПФ, центрированный на солнечную линию КCaII, получен на дифракционном спектрографе (дисперсия $0.02 \text{ \AA}/\text{пиксель}$). Достигнутая полуширина полосы пропускания ИПФ 0.15 \AA сравнима с полушириной полосы самых узкополосных фильтров на линию КCaII и позволяет получать изображения хромосферы без наложения фотосферных образований.

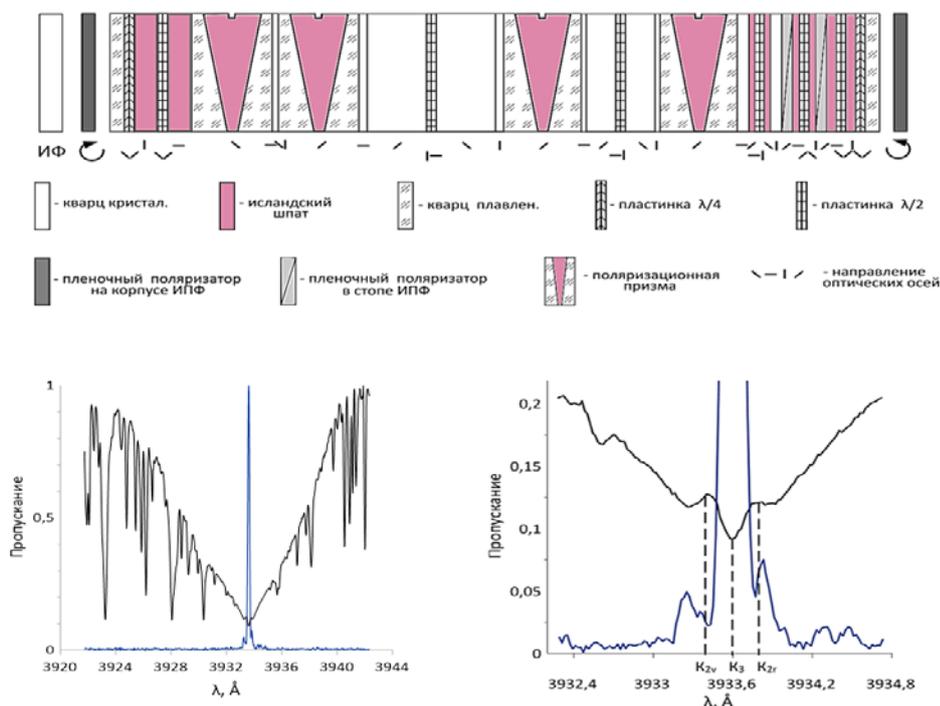


Рис. 2.3.1.1.1. Оптическая стопа ИПФ (вверху) и полоса пропускания ИПФ в двух масштабах (внизу)

Публикация:

Skomorovsky V.I., Proshin V.A., Kushtal G.I., Tokareva L.S., Firstov S.V. Advances in optical coating uniformity of interference filters // *Optik*. 2024. Vol. 314, 171980. DOI: 10.1016/j.ijleo.2024.171980.

2.3.1.2. Эволюция микроволновых и рентгеновских источников во время импульсной вспышки 5 февраля 2023 по данным СРГ и ASO-S

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — Ю.Н. Шамсутдинова¹, к.ф.-м.н. Л.К. Кашапова¹, PhD Zhentong Li², PhD Yang Su².

¹ИСЗФ СО РАН, Иркутск; ²Key Laboratory of Dark Matter and Space Astronomy, Purple Mountain Observatory, CAS, Nanjing, China.

Результаты сравнительного анализа параметров плазмы лимбовой вспышки 5 февраля 2023 г., наблюдавшейся одновременно в микроволновом и рентгеновском диапазонах Сибирским радиогелиографом (СРГ) в диапазоне частот 3–12 ГГц и Advanced Space-based Solar Observatory / Hard X-ray Imager (ASO-S/HXI) в диапазоне 10–300 кэВ показали, что основным источником энерговыделения была небольшая компактная петля. На ранней фазе развития вспышки по данным спектрального анализа микроволнового излучения произошел переход от теплового гиротронного излучения (доминирования тепловых процессов) к гиротронному излучению нетепловых электронов (процессы ускорения). Показано, что видимое ужесточение среднего микроволнового спектра в конце импульсной фазы было вызвано вкладом излучения струи в микроволны, а не особенностями процессов ускорения в данном событии.

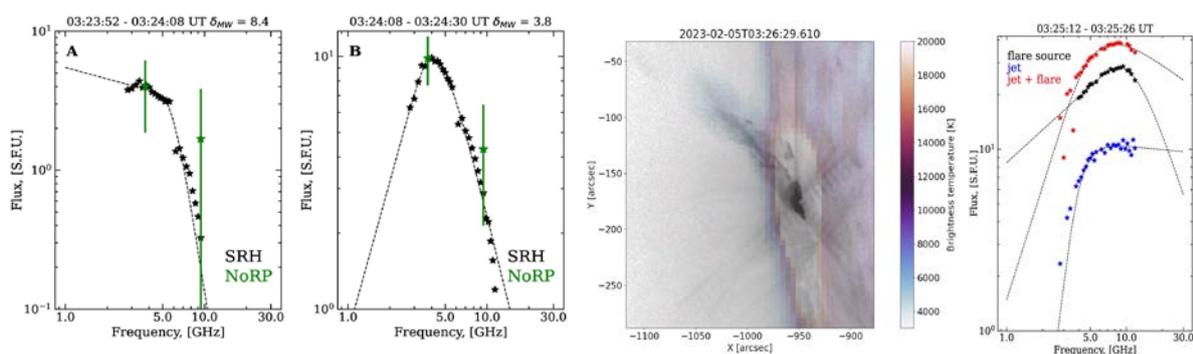


Рис. 2.3.1.2.1. Слева направо: первая и вторая панели — микроволновые спектры, полученные из усредненных потоков по данным СРГ на частотах 3–12 ГГц для интервалов времени, указанных сверху; зеленым цветом показаны данные Nobeyama Spectropolarimeter (NoRP) на частотах 3.75 и 9.4 ГГц, использованные для верификации значений потока СРГ; третья панель — наложение изображений СРГ на частоте 11.8 ГГц (цветовая палитра) и SDO/AIA в диапазоне 131 Å (оттенки черного) показывает вспыхивающую петлю в EUV-диапазоне и микроволновый вспыхивающий источник в сочетании с джетом (струей плазмы), видимой на обоих изображениях; четвертая панель — микроволновые спектры, полученные для областей вспыхивающего источника и струи с использованием изображений СРГ

Публикация:

Shamsutdinova J.N., Kashapova L.K., Li Z., Su Y. Spatial and spectral evolution of microwave and x-ray sources during the solar limb flare on February 5, 2023 // Solar Physics. Vol. 299, no. 6. P. 80. DOI: 10.1007/s11207-024-02331-w.

2.3.1.3. Моделирование временных профилей событий в солнечных космических лучах

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — Д.В. Рожкова¹, к.ф.-м.н. Л.К. Кашапова¹, к.ф.-м.н. И.Н. Мягкова².

¹ИСЗФ СО РАН, Иркутск; ²Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва.

Проведено исследование причин, вызывающих различие в форме временных профилей событий в солнечных космических лучах (СКЛ), связанных со вспышками на обратной стороне Солнца, в сравнении с типичными импульсными или длительными типами событиями. Была разработана оригинальная численная модель, которая позволяет воспроизвести форму временного профиля событий в СКЛ, используя простые предположения о распространении частиц в межпланетном пространстве. Тестирование и корректировка численной модели была проведена для четырех импульсных вспышек, произошедших в западном полушарии Солнца, и одной в центре диска. Результаты моделирования временного профиля для событий в СКЛ 21 октября 2003 г. показали, что источником данного события наиболее вероятно является вспышка, произошедшая в 18:42 UT 21 октября 2003 г. на обратной стороне Солнца (рис. 2.3.1.3.1). Результаты численного моделирования указывают, что искажение временного профиля событий в СКЛ, связанных со вспышкой на обратной стороне Солнца, может происходить за счет увеличения траектории движения частиц в предположении, что они ускорились во время вспышки.



Рис. 2.3.1.3.1. Сравнение модельного и наблюдавшегося временных профилей для события в СКЛ 21 октября 2003 г.

Публикация:

Rozhkova D.V., Kashapova L.K., Myagkova I.N. Modeling of time profiles of solar energetic particle events // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 8. P. 108–115. DOI: 10.1134/S0016793224700439.

2.3.1.4. Локализация источника γ -излучения в залимбовой вспышке

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.А. Кочанов, к.ф.-м.н. В.И. Киселев, д.ф.-м.н. В.В. Гречнев, д.ф.-м.н. А.М. Уралов.

Удаленное обнаружение энергичных протонов, ускоренных в солнечных событиях, возможно лишь по форме спектра γ -излучения ядерных реакций с их участием. В случае залимбовых вспышек, при которых γ -излучение регистрируется на видимой стороне Солнца, неясно, какими протонами вызвано это излучение — ускоренными во вспышке и как-то достигшими видимой стороны Солнца или же ускоренными ударным фронтом и вернувшимися к солнечной поверхности. Самой мощной из трех залимбовых вспышек, наблюдавшихся в γ -излучении космической обсерваторией Fermi/LAT, была вспышка 1 сентября 2014 г. Тогда возникли быстрый КВМ и γ -излучение, регистрировавшееся в течение 6 ч. Положение γ -источника вначале было определено командой Fermi/LAT некорректно, что породило домыслы и неадекватные выводы ряда исследователей. Мы установили, что эффективный центр γ -излучения находился вблизи оснований длинных корональных петель, соединенных с местом вспышки, и его положение не менялось со временем. Полученный результат подтверждает вспышечное происхождение протонов высоких энергий, которые были инжектированы в высокие корональные петли вместе с электронами и удерживались там длительное время.

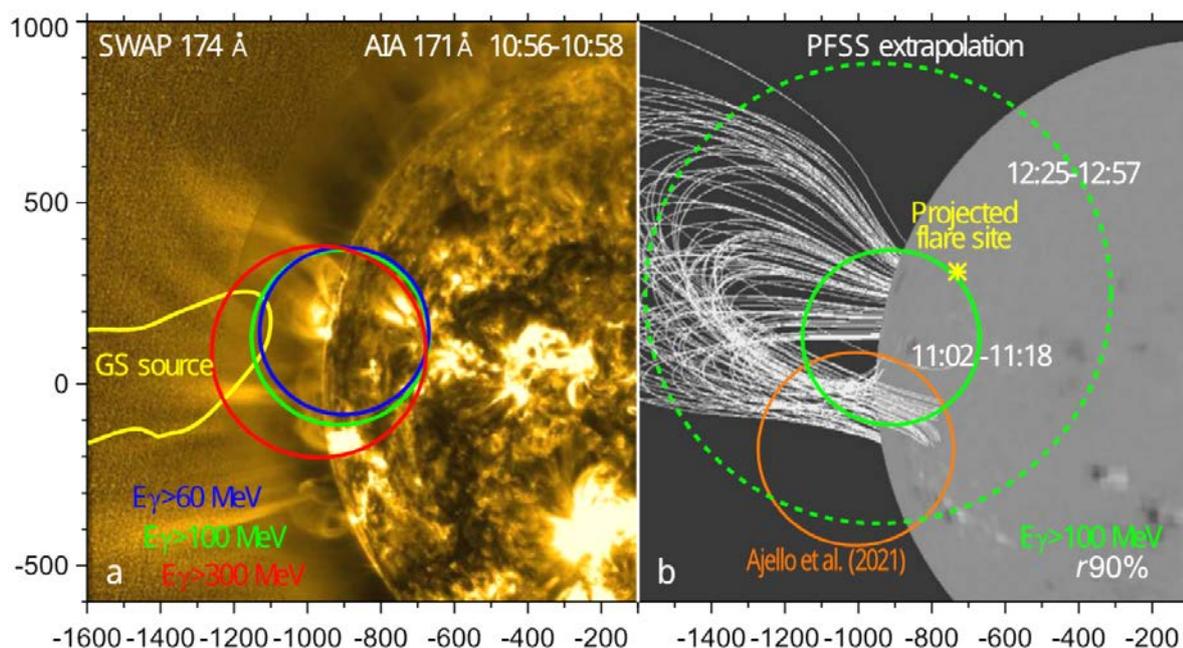


Рис. 2.3.1.4.1. Соответствие корональных петель, видимых в крайнем ультрафиолете (а), магнитным силовым линиям, выходящим из области залимбовой вспышки (б). Источник гиротронного радиоизлучения удерживаемых магнитной ловушкой электронов расположен в нижней части этих петель. В основаниях петель находится рассчитанный эффективный центр γ -излучения, и его положение не меняется со временем

Публикация:

Kochanov A.A., Kiselev V.I., Grechnev V.V., Uralov A.M. Localization of the gamma-ray emission region in the 1 September 2014 behind-the-limb solar flare according to the Fermi/LAT data // Solar Physics. 2024. Vol. 299, no 2. P. 18. DOI: 10.1007/s11207-024-02264-4.

2.3.1.5. Универсальный метод расчета основных характеристик атмосферной оптической турбулентности и его апробация для астрономических обсерваторий

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев¹, д.ф.-м.н. П.Г. Ковадло¹, к.ф.-м.н. С.А. Потанин², к.ф.-м.н. Е.А. Копылов³.

¹ИСЗФ СО РАН; ²ГАИШ; ³ИНАСАН

Разработан метод расчета вертикальных профилей интенсивности атмосферной оптической турбулентности C_n^2 . Метод основан на закономерности формирования турбулентных флуктуаций показателя преломления в области значимых атмосферных завихренностей и внешнего масштаба турбулентности. Новизна метода заключается в двухшаговой коррекции характеристик оптической турбулентности за счет согласования измеренных с помощью датчика Шака — Гартмана фазовых флуктуаций световой волны в плоскости, сопряженной с апертурой телескопа и удаленными атмосферными слоями (в метазрачках телескопа), со структурными характеристиками флуктуаций показателя преломления воздуха в приземном слое атмосферы. По результатам исследований рассчитаны профили дневной и ночной оптической турбулентности для Байкальской астрофизической обсерватории (БАО) (1940–2022 гг.) и обсерватории Пик Терскол (2013–2023 гг.) (рис. 2.3.1.5.1), наиболее близко согласующиеся с данными измерений (по технике MASS-DIMM).

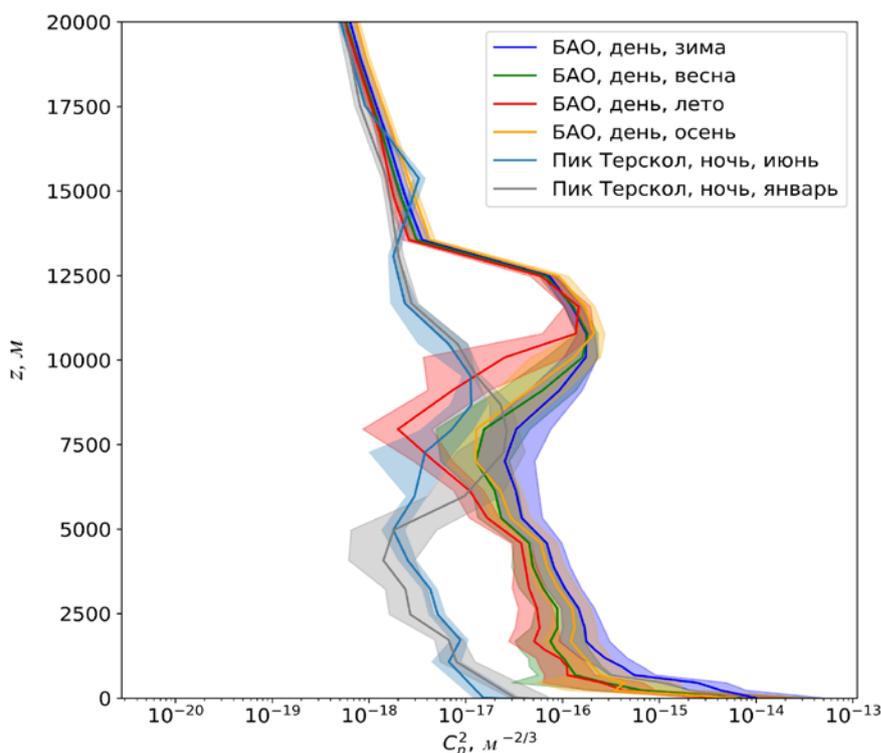


Рис. 2.3.1.5.1. Вертикальные профили атмосферной оптической турбулентности

Публикации:

Shikhovtsev A. Reference optical turbulence characteristics at the Large Solar Vacuum Telescope site // Publications of the Astronomical Society of Japan. 2024. Vol. 76, iss. 3. P. 538–549. DOI: 10.1093/pasj/psae031.

Shikhovtsev A.Y., Qing C., Kopylov E.A., Potanin S.A., Kovadlo P.G. Vertical distribution of optical turbulence at the Peak Terskol Observatory and Mount Kurapdag // Remote Sens. 2024. Vol. 16, 2102. DOI: 10.3390/rs16122102.

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

3.1. Байкальская астрофизическая обсерватория



Рис. 3.1.1. Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ)

Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО) расположена в п. Листвянка в 70 км от Иркутска. Основным инструментом БАО является единственный в России Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ) (рис. 3.1.1.), входящий в перечень уникальных установок Российской Федерации (рег. номер 01-29). Кроме того, в БАО функционируют три хромосферных телескопа, оборудованных интерференционно-поляризационными фильтрами (ИПФ) на диагностически важные линии $\text{H}\alpha$ (656.3 нм) и K Ca II (393.3 нм), а также Солнечный

телескоп оперативных прогнозов нового поколения (СТОП-1), входящий в уникальную российскую сеть из трех идентичных инструментов для мониторинга солнечного магнетизма (два других СТОПа расположены в Уссурийске и в Кисловодске). В стадии отладки находится Солнечный синоптический телескоп (СОЛСИТ), на котором в отчетном году продолжены пусконаладочные мероприятия.

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

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

В 2024 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры БСВТ, разработке и совершенствованию методов наблюдений:

- настройка элементов адаптивной оптики Большого солнечного вакуумного телескопа, а также работы с тип/тилт-корректором фазовых искажений (Киселев А.В., Русских И.В., Колобов Д.Ю., Чупраков С.А., группа ИОА СО РАН под руководством Борзилова А.Г.);
- настройка датчика Шака — Гартмана макета системы адаптивной оптики Большого солнечного вакуумного телескопа, а также измерения искажений волновых фронтов по наблюдениям солнечных пятен (Киселев А.В., Русских И.В., Колобов Д.Ю., Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г.) в двух каналах ($\text{H}\alpha$ -альфа и G-band); результат определения среднеквадратичного отклонения волнового фронта на длине волны 433 нм с помощью датчика Шака — Гартмана показан на рис. 3.1.2;
- измерения астроклиматических характеристик, включая микрометеорологические характеристики на двух высотах: вблизи зеркала-сидеростата БСВТ и в приземном слое на высоте 4 м.

В 2024 г. под руководством Боровика А.В. продолжались регулярные наблюдения хромосферы Солнца (полный диск) в линиях $\text{H}\alpha$ 656.3 нм и K Ca II 393.3 нм (рис. 3.1.3.) (А.А. Жданов, А.В. Овчаров, А.А. Головкин). В спектральной линии $\text{H}\alpha$ с мая по октябрь общая продолжительность наблюдений составила 63 дня, получено 5912 изображений полного диска (порядка 283 ч). Наблюдения полного диска Солнца на хромосферном телескопе в линии K Ca II проводились в течение 105 дней с января по ноябрь, получено 970 изображений.

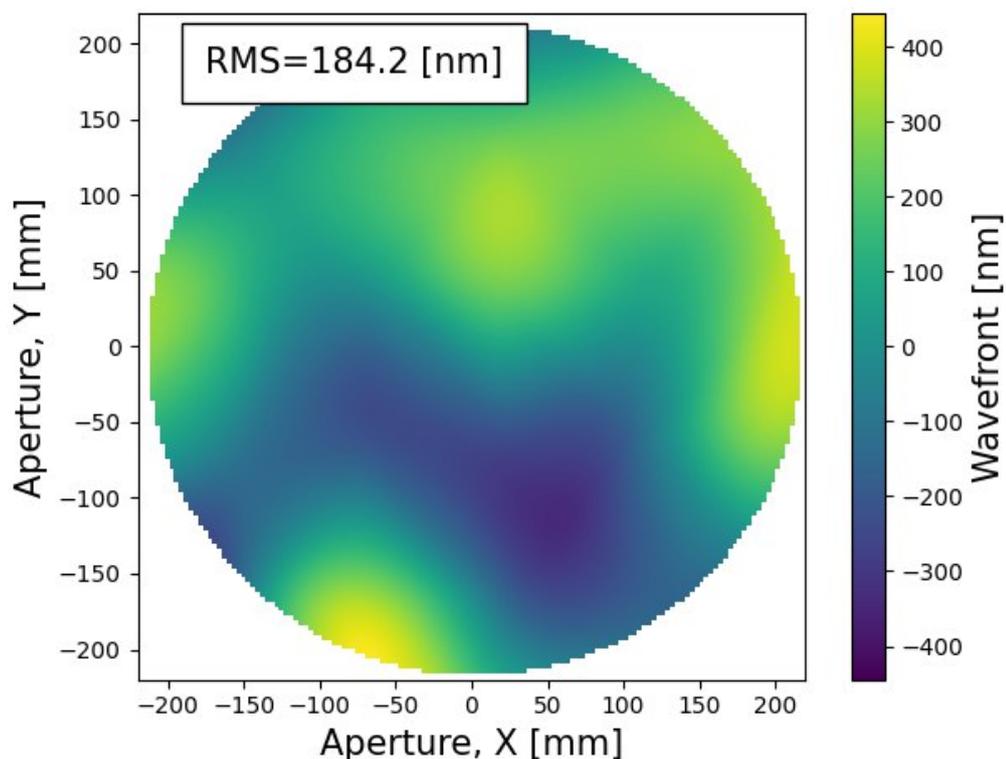


Рис. 3.1.2. Результат определения СКО волнового фронта на длине волны 433 нм, полученный с помощью датчика Шака — Гартмана по наблюдениям на БСВТ

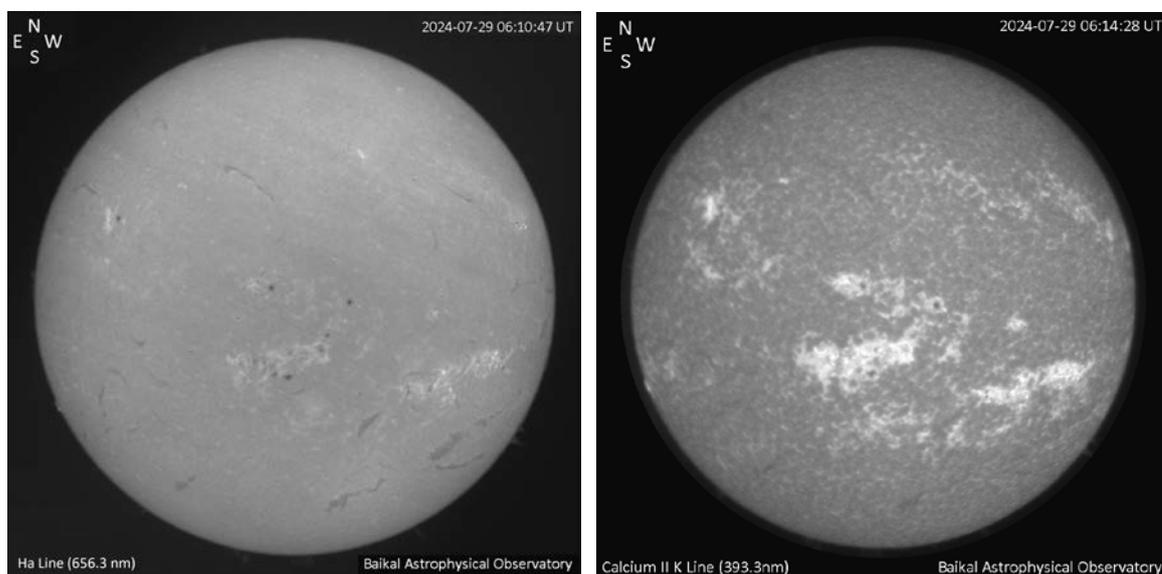


Рис. 3.1.3. Изображения полного диска хромосферы Солнца в линиях H α 656.3 нм (слева) и К CaII 393.3 нм (справа) 29.07.2024 в 14:10 и 14:14 местного времени соответственно

На территории обсерватории также выполняли экспериментальные работы сотрудники Лимнологического института СО РАН. Проводились научно-просветительские мероприятия и экскурсии для участников конференций, студентов и школьников.

3.2. Саянская солнечная обсерватория



Саянская солнечная обсерватория (ССО) ИСЗФ СО РАН расположена на территории Тункинского района Бурятии (Россия) в районе поселка Монды на высоте 2000 м в 320 км от Иркутска.

Основные задачи обсерватории — исследования Солнца, звезд и космического пространства, мониторинг и изучение околоземного космического пространства, включая наблюдение искусственных спутников Земли и космического мусора. Помимо этого, проводятся мониторинг ионосферы на основе доплеровского эффекта, GPS-зондирование, регистрация метеорной активности, а также метеорологические наблюдения, включая исследования астроклимата и контроль загрязнения атмосферы.

На телескопе АЗТ-33ИК проводились наблюдения площадок космических гамма-всплесков (GRB) с целью обнаружения и измерения послесвечения в оптическом диапазоне. В январе–ноябре 2023 г. наблюдались площадки следующих объектов: AT2023avj, AT2023azs, AT2023jxk, AT2023lcr, AT2023qxj, AT2023rkw, AT2023sva, GRB 220306B, GRB 230204B, GRB 230216A, GRB 230228A, GRB 230328B, GRB 230409B, GRB 230414B, GRB 230420A, GRB 230506C, GRB 230606A, GRB 230618A, GRB 230723B, GRB 230812B, GRB 230818A, GRB 230826A, GRB 231017A, GRB 231104A, GRB 231111A, GRB 231117A, SN2023ixf. По результатам измерений опубликованы следующие циркуляры GCN (Gamma-Ray Coordination Network): 33239, 33373, 33383, 33528, 33530, 33608, 33615, 33617, 33725, 34047, 34567, 34867, 34994.

В рамках наземной поддержки программы научных наблюдений рентгеновской орбитальной обсерватории «Спектр-РГ» на телескопе АЗТ-33ИК выполнялись работы по ее оптическому сопровождению. Проводились оптические наблюдения рентгеновских транзиентов, скоплений галактик и кандидатов в активные ядра галактик, обнаруженных по данным «Спектр-РГ» обзора всего неба, с целью отождествлений и спектрометрического измерения красных смещений. В январе–ноябре в течение 31 наблюдательной ночи были выполнены спектрометрические измерения 67 рентгеновских источников.

На телескопе АЗТ-33ИК выполнялись спектрометрические измерения звезды типа Т Тельца V715 Per, расположенной в молодом скоплении IC348. Серия последовательных измерений, покрывающая период осевого вращения звезды (5.23d), была получена в феврале 2023 г., аналогичные измерения продолжены в ноябре.

Для получения измерительной информации, необходимой для уточнения параметров траектории движения КА «Спектр-РГ», находящегося на гало-орбите в окрестности точки L2 системы Солнце — Земля, на телескопе АЗТ-33ИК проводились регулярные астрометрические измерения КА «Спектр-РГ» (международный идентификатор 2019-040A). В ноябре 2022 – октябре 2023 г. в течение 126 наблюдательных ночей было получено 3593 измерения положения КА.

На модернизированном телескопе АЗТ-14А проводились регулярные траекторные измерения высокоорбитальных космических объектов (КО). В ноябре 2022 – октябре 2023 г. в течение 225 наблюдательных ночей были получены измерения 1351 каталогизированного КО (уточнение орбит). Общее число серий измерений по всем объектам — 2477, из них 18 были получены для некаталогизированных КО. Количество отдельных измерений — 42999.

В рамках программы по информационному обеспечению автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП) на телескопах АЗТ-33ИК и АЗТ-33ВМ в ноябре 2022 – октябре 2023 г. проводились регулярные наблюдения искусственных космических объектов и космиче-

ского мусора.

На телескопе АЗТ-33ВМ в течение 249 наблюдательных ночей получена измерительная информация, включающая:

- астрометрические измерения потенциально опасных сближений (264 пары сближающихся объектов, 890 серий измерений);
- астрометрические измерения КО для уточнения предварительных орбит;
- наблюдения в области высокоапогейных орбит с целью обнаружения и каталогизации малоразмерных объектов космического мусора.

Общее число серий измерений по всем объектам — 2298, количество измеренных объектов — 1054. Среди них 46 ранее не известных КО, из них 24 были впоследствии каталогизированы. Количество отдельных измерений — 86404.

На телескопе АЗТ-33ИК в течение 223 наблюдательных ночей проводились регулярные фотометрические измерения 98 КО на геостационарной и средневысотных орбитах. Общее число серий измерений — 1437.

На Солнечном телескопе оперативных прогнозов (СТОП) выполнялись наблюдения крупномасштабных (фоновых) магнитных полей (КМП) и общего магнитного поля (ОМП) Солнца как звезды. Данные наблюдений актуальны для исследования глобального магнетизма Солнца, а также ряда проблем, связанных с космической погодой. Количество измерений КМП — 98, количество измерений ОМП — 316. Общее количество наблюдательных дней — 112.

На Саянском спектрографическом комплексе космических лучей проводилась непрерывная регистрация вариаций космических лучей и атмосферного давления.

Данные наблюдений космических лучей и атмосферного давления с минутным и часовым интервалами накоплений представляются онлайн на сайте 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 nndb.eu, а также представлены в Мировом центре данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ). На станции космических лучей, расположенной на высоте 3000 м, совместно с Федеральным государственным бюджетным научным учреждением Полярным геофизическим институтом (Апатиты, Россия) проводится мониторинг гамма-излучения в энергетическом диапазоне 20–400 кэВ.

Для обеспечения в режиме реального времени стабильной работы станций космических лучей проводились профилактические работы. Данные наблюдений представлены на сайтах <http://cgm.iszf.irk.ru/>, <http://www.nndb.eu>. По данным наблюдений опубликовано 4 статьи.

На автоматизированном солнечном телескопе (АСТ) проводились наблюдения для получения экспериментальных данных по исследованию структуры и динамики различных образований в солнечной атмосфере, колебаний и волн в фотосфере и хромосфере Солнца методами спектрометрии.

Объект наблюдения	Спектральные линии	Количество серий наблюдений					Итого
		март	июнь	июль	август	сентябрь	
Волокно	H β 4861 + Fe 4859	9	7	3	–	–	19
Факел	Ha 6563 + He 10830	–	–	–	–	18	18
Пятно	Ha 6563 + He 10830	–	–	–	–	11	11

За год сделано 48 временных серий. Продолжительность серий от 25 до 180 мин, в среднем — 78 мин.

Совместно с сотрудниками АКЦ ФИАН и САО РАН были проведены установка приборов регистрации влажности воздуха с целью размещения субТГц-телескопа (радиометра МИАП-2), а также установка глобальной навигационной системы вместе с работниками ИОА СО РАН.

В ССО работали сотрудники Института оптики атмосферы СО РАН (г. Томск), ФИАН РАН (г. Москва). Регулярно проводятся экскурсии для школьников, студентов и гостей обсерватории.

3.3. Радиоастрономическая обсерватория им. проф. Г. Я. Смолькова



Рис.3.3.1. Общий вид антенной системы РАО

Радиоастрономическая обсерватория (РАО) «Бадары» ИСЗФ СО РАН расположена в Тункинском районе Республики Бурятия. Основными инструментами обсерватории являются Радиогелиограф (рис. 3.3.1) и комплекс спектрополяриметров с общим диапазоном от 0.05 до 24 ГГц (рис. 3.3.2), входящие в состав уникальных научных установок научно-технологической инфраструктуры Российской Федерации. Общий вид антенной системы РАО показан на рис. 3.3.1. Радиогелиограф состоит из трех Т-образных радиоинтерферометров с диапазонами частот 3–6, 6–12 и 12–24 ГГц, которые позволяют получать двумерные радиоизображения Солнца в левой и правой круговых поляризациях в течение всего светового дня круглый год независимо от погодных условий (рис. 3.3.3). Количество частотных каналов, время накопления и соответственно чувствительность — переменные параметры, определяемые научной задачей. Основные параметры Радиогелиографа приведены в таблице.

Основные параметры ССРТ

Общий диапазон рабочих частот	3–24 ГГц
Мгновенная полоса частот	10 МГц
Угловое разрешение	4–22 угл. сек
Чувствительность по компактным источникам	до 0.01 с.е.п.
Поляризация	обе круговые



Рис. 3.3.2. Комплекс спектрополяриметров РАО

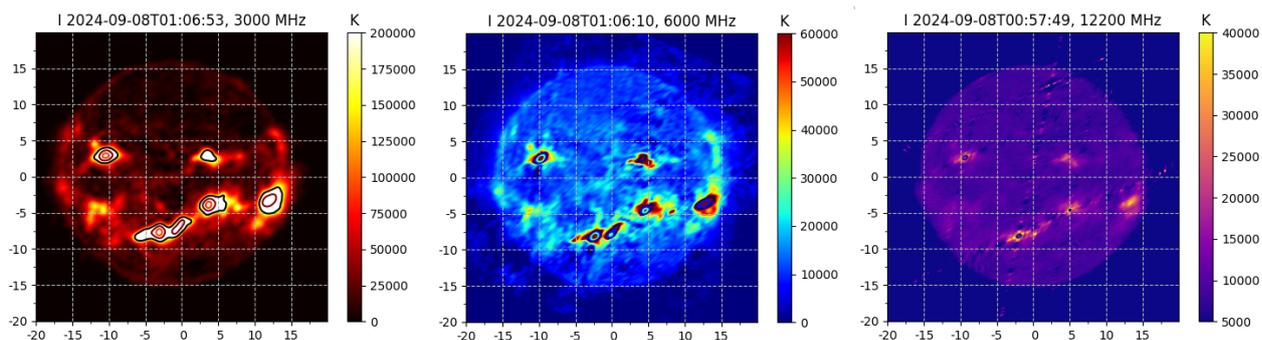


Рис. 3.3.3. Пример радиоизображений Солнца, полученный на Радиогелиографе, на частотах 3, 6 и 12 ГГц

Радиогелиограф и комплекс малых инструментов введен в регулярные наблюдения в декабре 2023 г. Организован ресурс для доступа пользователей к исходным микроволновым данным (<https://ftp.rao.istp.ac.ru/>). Разработан комплекс программного обеспечения для онлайн-построения изображений с использованием Common Astronomy Software Applications (CASA).

В обсерватории на регулярной основе проводятся практики студентов Иркутского государственного университета, научные экскурсии для студентов и школьников. В рамках Байкальской школы по фундаментальной физике БШФФ-2024 был проведен недельный интенсив, направленный на изучение принципов и работу с данными Радиогелиографа. Лекции читали ведущие научные сотрудники отдела радиоастрофизики.



Рис. 3.3.4. Основной павильон РАО

Общий штат сотрудников РАО составляет ~40 чел. Обсерватория занимает площадь 400 Га, на которой расположены 12 технических зданий и сооружений общей площадью более 6 тыс. кв. м. Общая длина линейных объектов и инженерных коммуникаций обсерватории — более 20 км. Электропитание осуществляется по двум ЛЭП 10 и 35 кВ, для чего на территории РАО требуется содержать и обслуживать 4 трансформаторные подстанции, включая подстанцию 35/10 кВ. Резервное электроснабжение осуществляется двумя дизель-генераторными установками 35 и 100 кВт.

3.4. Геофизическая обсерватория

Геофизическая обсерватория ИСЗФ СО РАН расположена в 150 км от Иркутска в Республике Бурятия вблизи с. Торы (103° E, 51°42' N, высота над уровнем моря 530 м).



Рис. 3.4.1. Геофизическая обсерватория. Административно-хозяйственный корпус

Экспериментальная база обсерватории включает в себя следующее оборудование:

- Широкоугольная высокочувствительная фотокамера ФИЛИН-1Ц (Фотокамера для исследования люминесцентного излучения неба) на базе ПЗС-матрицы 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 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, OI 630.0, NaI 589.0–589.6 нм и др.) при гелиогеофизических возмущениях различной природы; позволяет получать двумерное изображение дуги небесной сферы в диапазоне длин волн 400–700 нм.
- Спектрометр ИКС-1 для измерения вращательной температуры нейтральной атмосферы на высотах 80–100 км и интенсивности излучения ночного неба в спектральном диапазоне 820–870 нм.
- Высокочувствительная оптическая система для регистрации быстрых вариаций ~5–100 мс в излучении ночного неба 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 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 для регистрации спектрального состава и пространственного распределения собственного излучения верхней атмосферы Земли.
- Сканирующий интерферометр Фабри — Перо КЕО Arinae для измерения температуры и скорости ветра на высотах высвечивания эмиссий (2 ед.).
- Широкоугольная оптическая система КЕО Sentry-4 для регистрации пространственной картины интенсивности эмиссии (2 ед.).
- Двухканальный фотометр КЕО Arges-VF для исследования быстрой вариации интенсивностей основных эмиссий в диапазонах 557.7, 630.0, 427.8, 843.0 нм (2 ед.).
- Спектрограф видимого диапазона КЕО Spectrograph::VISIBLE для регистрации спектрального состава излучения ночного неба в диапазоне 400–1000 нм.

- Спектрограф инфракрасного диапазона KEO Spectrograph::INFRARED для регистрации спектрального состава излучения ночного неба в диапазоне 950–1650 нм.
- Инфразвуковая станция 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.

Данные наблюдений ГФО

В 2024 г. проводился мониторинг пространственного распределения интенсивности основных атмосферных эмиссий, спектрального состава излучения ночного неба в диапазоне 400–1700 нм, температуры и скорости ветра на высотах высвечивания основных атмосферных эмиссий.

Проводился мониторинг инфразвуковых сигналов на инфразвуковой станции. Регистрация инфразвуковых сигналов осуществляется с помощью 6-позиционной станции, оснащенной микробарографами.

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

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

В обсерватории проводилось научно-образовательное мероприятие молодых ученых в рамках проведения БШФФ-2024, практика студентов Иркутского государственного университета, научные экскурсии школьников, студентов и др.



Рис. 3.4.2. Экскурсия школьников (школа п. Торы)

3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы

Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА) ИСЗФ СО РАН расположена вблизи г. Усолье-Сибирское в 125 км от г. Иркутска.

Основные задачи обсерватории

- регулярные наблюдения вариаций параметров ионосферы для разных времени суток, сезонов, уровней солнечной и геомагнитной активности;
- наблюдение мощных когерентных отражений во время геомагнитных возмущений;
- наблюдение распространения волновых возмущений, приходящих из полярной области ионосферы;
- наблюдение звездных радиоисточников в пассивном режиме;
- наблюдение космических объектов, контроль окружающего космического пространства;
- обслуживание и модернизация научного оборудования.

Экспериментальная база ОРДА включает следующее научное оборудование:

- Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР). Общий вид ИРНР, показан на рис. 3.5.1. Радар входит в перечень уникальных установок национальной значимости (рег. № 01-28), информация представлена в разделе «Уникальная установка Иркутский радар некогерентного рассеяния», <http://ckp-rf.ru/usu/77733/>.
- Передающий пункт многопозиционного ЛЧМ-иозонда, входящий в ЦКП «Ангара», <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.
- Приемник GPS/ГЛОНАСС сети SibNet, входящей в ЦКП «Ангара», <https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/3056/>.



Рис. 3.5.1. Общий вид ИРНР

В 2024 г. на научном оборудовании в ОРДА, наряду с регулярными наблюдениями вариаций параметров ионосферы для разных времени суток, сезонов и уровней геомагнитной активности, проводился ряд экспериментов, предназначенных для отработки новых методик, модернизации аппаратуры и программного обеспечения:

1. измерения параметров ионосферной плазмы;
2. накопление статистики по обнаруженным космическим объектам (КО);
3. измерение параметров выносных приемных устройств (ВУП);
4. эксперименты с тестированием кодовых последовательностей ФМ-сигналов в излученных импульсах;
5. тестирование нового комплекта ВУП;
6. измерения с использованием новой системы калибровки приемного тракта;
7. накопление статистики при работе системы синхронизации ИРНР–РЛК.

В 2024 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры и программного обеспечения (ПО) ИРНР:

8. доработана система калибровки приемного тракта, проведены работы по измерению параметров ВУП;
9. испытан новый комплект ВУП;
10. доработано ПО обработки ионосферной информации в режиме реального времени;
11. доработано ПО обработки спутниковой информации в режиме реального времени.

Общее время наблюдений в активном режиме составило ~39 сут, в остальное время наблюдения велись в пассивном режиме.

В 2024 г. передающий пункт ЛЧМ-ионозонда работал в режиме мониторинга радиотрассы Усолье — Торы в диапазоне рабочих частот с 1–14 МГц. Общее время работы передающего пункта на трассе ОРДА — ГФО составило ~364 сут.

Приемник GPS/ГЛОНАСС работал в непрерывном режиме с частотой регистрации параметров навигационных сигналов и измерения полного электронного содержания 1 с.

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

Мероприятия, проведенные в Обсерватории радиофизической диагностики атмосферы в 2024 г.

5 февраля — экскурсия и лекция на ИРНР для студентов ИГУ.

7 февраля — экскурсия и лекция на ИРНР для студентов ИрННТУ.

16 марта — организация и проведение встречи школьников Усольского района с космонавтом, героем Российской Федерации Александром Федоровичем Полещуком.

4 апреля — марафон «Наука открывает тайны» для учащихся Усольского района в преддверии Дня космонавтики с лекциями от ученых ИСЗФ СО РАН. Прочитаны следующие лекции: «Солнце: как и зачем его изучают» (А.А. Челпанов), «Магнитные бури» (А.В. Рубцов), «Что в Сибири ищут ученые всего мира?» (И.А. Перевалова), «Радиофизические методы исследования верхней атмосферы» (В.П. Лебедев).

23 апреля — экскурсии на ИРНР для двух групп школьников 9–11 классов. В программу экскурсии входило посещение антенны радара, зала передатчиков, лекция по научным задачам, решаемым на радаре и в институте, лекция «Иркутский радар на службе Родины и науки».

22 мая — экскурсия на ИРНР для школьников 9–11 классов гимназий № 1 и № 9 Усолья-Сибирского и лекция «Иркутский радар на службе Родины и науки».

17–21 июня — производственная практика студентов 3 курса физического факультета ИГУ.

30 июля — 11 августа — экспедиция «Волшебное зеркало планеты» в рамках проекта «Открываем Россию заново». Организатором проекта является НИУ «Высшая школа экономики», соорганизаторы: АНО «Россия — страна возможностей» и АНО «Больше, чем путешествие».

25 августа – 1 сентября — интенсив на ИРНР в рамках БШФФ-2024.

октябрь–декабрь — планируется ряд экскурсий и лекций для профилирующих кафедр университетов и учащихся старших классов общеобразовательных школ Иркутской области.

3.6. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория

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

3.6.1. Магнитная обсерватория «Иркутск» (п. Патроны)



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

Магнитная обсерватория «Иркутск» (рис. 3.6.1.1) является старейшей действующей обсерваторией Сибири и одной из старейших магнитных обсерваторий России. Основанная по решению Государственного Совета Российской Империи 1884 г. обсерватория ведет непрерывные измерения магнитного поля с 1887 г.

Необходимо отметить, что в связи с промышленно-экономическим развитием территорий на которых находилась обсерватория, созданием на этих территориях крупных промышленных, транспортных предприятий и объектов, грозящих появлением магнитных помех, проводимые обсерваторией геомагнитные наблюдения три раза переносились:

- 1914 г. — перенос магнитных наблюдений из Иркутска в п. Зуй в связи с запланированным строительством в городе трамвайной линии;
- 1958 г. — перенос магнитных наблюдений из п. Зуй в п. Патроны в связи с началом работ по электрификации железной дороги, проходящей около п. Зуй;
- 1978 г. — перенос магнитных наблюдений внутри п. Патроны с территории радиостанции на территорию Сибирского института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ныне ИСЗФ СО РАН), в связи со сменой ведомственной принадлежности.

Однако, несмотря на это потерь в данных не происходило, так как всегда после строительства новых зданий осуществлялся метод параллельной работы дублирующих приборов от 6 месяцев до 5 лет. Таким образом, обсерватория имеет непрерывный ряд магнитных наблюдений с 1887 г. (рис. 3.6.1.2), храня в своих архивах данные о геомагнитной обстановке за последние 137 лет, включая уникальные события разных лет (рис. 3.6.1.3).

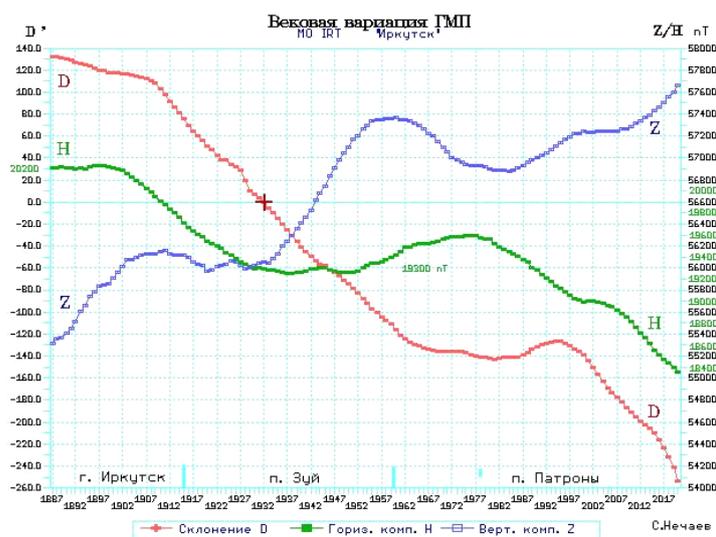


Рис. 3.6.1.3. Вековой ход компонент МПЗ за все годы наблюдения в районе Иркутска

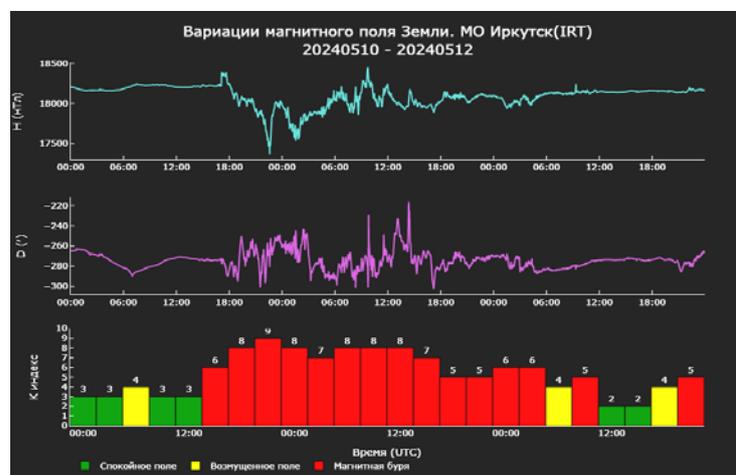


Рис. 3.6.1.2. Сильнейшая геомагнитная буря XXV (текущего) солнечного цикла, данные МО «Иркутск»

В настоящее время обсерватория оснащена современными магнитометрическими инструментами, предназначенными для экспериментального исследования МПЗ путем непрерывной регистрации как его абсолютных значений, так и вариаций (Таблица).

Сотрудники обсерватории стремятся к получению наблюдательного материала высокого качества, проводя непрерывный мониторинг соответствия требованиям международных стандартов территории и зданий обсерватории, используемого на обсерватории оборудования, принятых на обсерватории норм работы, проверки получаемых данных и т. д.

С целью оценки систематической погрешности оборудования и поддержания метрологического единства мониторинга магнитного поля Земли, выполняемого российскими обсерваториями, в текущем году сотрудники обсерватории приняли участие во всероссийской сверке абсолютных обсерваторских магнитометров, проходившей на геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН (рис. 3.6.1.4).

Название инструмента, аббревиатура	Параметры (характеристики)	Принцип работы	Исследуемые объекты (процессы, явления)
 <p>MAG 01</p>	<p>Диапазон измерений: $\pm 200\ 000$ нТл Максимальное разрешение: $0,1$ нТл Диапазон рабочих температур: 0°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Напряжение питания: $12\ \text{В}$.</p>	<p>Феррозондовый деklinометр/инклинометр «MAG 01» состоит из двух основных частей немагнитного теодолита Carl Zeiss Theo 010B и феррозондового магнитометра MAG-01 состоящего в свою очередь из однокомпонентного феррозонда и блока электроники/ Принцип работы феррозондового деklinометра/инклинометра «MAG 01» заключается в измерении угла между плоскостью магнитного меридиана и плоскостью географического меридиана (склонение), угла между горизонтальной плоскостью и направлением полного вектора магнитного поля (наклонение), посредством нахождения соответствующих плоскостей магнитного и географического меридианов, направления полного вектора магнитного поля Земли.</p>	<p>Измерение склонения и наклонения магнитного поля Земли</p>
 <p>LEMJ 203</p>	<p>Полный диапазон измерений: $\pm 100\ 000$ нТл Поддиапазоны измерений с соответствующим разрешением: I) $\pm 100\ 000$ нТл (10 нТл); II) ± 2000 нТл ($0,1$ нТл); III) $\pm 20\ 000$ нТл ($1,0$ нТл). Среднеквадратичное значение уровня шумов в полосе $0,01 - 1\ \text{Гц}$: $< 20\ \text{нТл}$. Рабочий температурный диапазон: -5 до $+40\ ^{\circ}\text{C}$. Потребляемая мощность: $0,5\ \text{Вт}$. Напряжение питания: $12\ \text{В}$.</p>	<p>Феррозондовый деklinометр/инклинометр «Lemj 203» состоит из двух основных частей немагнитного теодолита ЗТ2КР-НМ и феррозондового магнитометра Lemj 203 состоящего в свою очередь из однокомпонентного феррозонда и блока электроники, Принцип работы феррозондового деklinометра/инклинометра «Lemj 203» заключается в измерении угла между плоскостью магнитного меридиана и плоскостью географического меридиана (склонение), угла между горизонтальной плоскостью и направлением полного вектора магнитного поля (наклонение), посредством нахождения соответствующих плоскостей магнитного и географического меридианов, направления полного вектора магнитного поля Земли.</p>	<p>Измерение склонения и наклонения магнитного поля Земли</p>
 <p>КОЛЕЧНАЯ УСТАНОВКА</p>	<p>I) характеристика используемого магнитометра в установке: Диапазон измерений модуля магнитной индукции: $20000 - 100000$ нТл. Основная систематическая погрешность измерения: $1\ \text{нТл}$. Коэффициент преобразования датчика: $1,0 \cdot 10^{12} \pm 0,5$ Время жизни рабочего вещества датчика: $5-10$ лет. Рабочий температурный диапазон: -30 до $+60$. Потребляемая мощность: $< 3\ \text{Вт}$. Напряжение питания: $10-15\ \text{В}$. II) Характеристика колючей установки</p>	<p>Колючая установка включает в себя компенсатор выбранной компоненты магнитного поля (система колец Браунбека), протонный магнитометр POS-1, накопитель данных – DL POS. В основе работы установки лежит векторное измерение протонным магнитометром POS1 помещенным в центр колючей системы Браунбека параметров геомагнитного поля методом компенсации и дополнительного поля.</p>	<p>Измерение компонент магнитного поля Земли</p>

	Используемая <u>колесная</u> система: система <u>Брауншвейга</u> Диаметр колес: 380 мм.		
POS1	<p>Диапазон измерений модуля магнитной индукции: 20000 – 100000 нТл.</p> <p>Основная систематическая погрешность измерения: 1нТл.</p> <p>Коэффициент преобразования датчика: $1,0 \cdot 10^{12} \pm 0,5$</p> <p>Время жизни рабочего вещества датчика: 5-10 лет.</p> <p>Рабочий температурный диапазон: -30 до +60.</p> <p>Потребляемая мощность: < 3 Вт.</p> <p>Напряжение питания: 10- 15 В.</p>	Процессорный <u>оверхаузеровский</u> датчик POS-1 является <u>бесклавнатурным</u> , управляемым по порту, прецизионным измерительным прибором циклического типа, основанным на принципе динамической поляризации ядер (эффект <u>Оверхаузера</u>). <p>В физической основе измерений датчика лежит явление ларморовской прецессии магнитных моментов во внешнем магнитном поле.</p>	Измерение модуля индукции магнитного поля Земли
 QUARTZ (датчики)	<p>Базовые значения ГМП в пункте измерений: для H 17000 ± 1000 нТл, для Z 57000 ± 1000 нТл.</p> <p>Динамический диапазон вариаций: ± 4500 нТл.</p> <p>Разрешающая способность: 0.1 нТл.</p> <p>Температурный коэффициент вариометров: $\leq \pm 0,5$ нТл/°С.</p> <p>Разрешающая способность: 0.1 °С.</p> <p>Основная погрешность измерения температуры: $\pm 0,2$ °С.</p> <p>Напряжение питания от бесперебойного источника питания: $+12 В \pm 10\%$.</p> <p>Потребляемая мощность: < 2 Вт.</p>	<p>Магнитовариационная станция «Кварц» предназначена для непрерывной круглосуточной регистрации трех ортогональных компонент индукции геомагнитного поля.</p> <p>В состав станции входит блок регистрирующей электроники и блок вариометров, состоящий в свою очередь из трех вариометров D, H, Z чувствительных к соответствующим компонентам магнитного поля.</p> <p>В основе работы вариометров станции лежит использование <u>магниточувствительных</u> элементов на кварцевых нитях.</p>	Измерение вариации геомагнитного поля
MVS	<p>Базовые значения ГМП в пункте измерений: для H 17000 ± 1000 нТл, для Z 57000 ± 1000 нТл.</p> <p>Динамический диапазон вариаций: ± 4500 нТл.</p> <p>Разрешающая способность: 0.1 нТл.</p> <p>Температурный коэффициент вариометров: $\leq \pm 0,5$ нТл/°С.</p> <p>Разрешающая способность: 0.1 °С.</p> <p>Основная погрешность измерения температуры: $\pm 0,2$ °С.</p> <p>Напряжение питания от бесперебойного источника питания: $+12 В \pm 10\%$.</p> <p>Потребляемая мощность: < 2 Вт.</p>	<p>Магнитовариационная станция «MVS» предназначена для непрерывной круглосуточной регистрации трех ортогональных компонент индукции геомагнитного поля.</p> <p>В состав станции входит блок регистрирующей электроники и блок вариометров, состоящий в свою очередь из трех вариометров D, H, Z чувствительных к соответствующим компонентам магнитного поля.</p> <p>В основе работы вариометров станции лежит использование <u>магниточувствительных</u> элементов на кварцевых нитях.</p>	Измерение вариации геомагнитного поля



Рис. 3.6.1.4. Сверка абсолютных магнитометров, сентябрь 2024 год ГФО «Борок». А) Измерения наклона, склонения магнитного поля FDI магнитометром. Б) Групповая фотография участников сверки.

3.6.2. Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория

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



Рис. 3.6.2.1. Основные здания и сооружения БМТО Узур

В настоящее время в БМТО функционирует геофизический комплекс по круглосуточному мониторингу параметров ближнего космоса:

- Магнитотеллурическая цифровая станция LEMI-418, осуществляющая измерение вектора вариаций геомагнитного поля 0–0.1 Гц, трех компонент вектора индукции переменного геомагнитного поля в диапазоне 0.01–200 Гц и трех компонент теллурических токов 0.01–200 Гц, включая вертикальную составляющую.
- Колечная установка для калибровки датчиков индукционных магнитометров и регистрации вертикальной компоненты ЭМПЗ в диапазоне 0–300 Гц.

В последние годы на территории БМТО для выполнения комплексных исследований в сотрудничестве с другими подразделениями Института были размещены дополнительные средства геофизических наблюдений:

- приемник сигналов навигационных спутников системы GPS/GLONAS для определения полного электронного содержания в ионосфере и магнитосфере;
- электростатический флюксметр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы;
- приемник сейсмосигналов для исследования землетрясений в Байкальской рифтовой зоне.
- оптическая система КЕО Sentinel, предназначенная для регистрации пространственного распределения интенсивности атмосферной эмиссии 630 нм.

В сентябре 2023 г. был заключен договор о научно-техническом сотрудничестве между Байкальским филиалом Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» и Институтом солнечно-земной физики СО РАН. Совместно с сотрудниками БМТО «Узур» была проведена модернизация технического оборудования для дальнейшего изучения и мониторинга Байкальской сейсмической зоны. Это дает возможность реализации совместных проектов в сфере научно-исследовательской и просветительской деятельности. Цель проекта — изучение различных геофизических полей на юге Байкала, совершенствование аппаратных методов и средств измерений, популяризация современных знаний о сейсмичности Байкальского региона.

В рамках обмена опытом мониторинга ионосферно-литосферных процессов 24–28 июня 2024 г. старший научный сотрудник КМИО к.г.-м.н. Семинский И.К. посетил IX Международный симпозиум «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов» в Бишкеке. Был представлен доклад «Глубинное геоэлектрическое строение центральной части Байкальского рифта по новейшим данным МТЗ» (рис. 3.6.2.2).

Был проведен обмен опытом в области регистрации шести компонент магнитотеллурического поля Земли (E_x , E_y , E_z , H_x , H_y , H_z), обработки и визуализации данных, а также попыток прогноза напряженно-деформированного состояния горных пород в период сейсмической активизации.



Рис. 3.6.2.2. Доклад с.н.с. КМИО Семинского на IX Международном симпозиуме «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов», Бишкек

3.7. Норильская магнитно-ионосферная станция



Рис. 3.7.1. Норильская КМИС. Лабораторный корпус

Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция (КМИС, первоначальное название Полярный космофизический полигон) образована в 1963 г. Это самый удаленный полигон ИСЗФ СО РАН.

Норильск был выбран для расположения станции как крупный населенный пункт, ближайший к северной зоне полярных сияний. В 1970-е гг. штат станции доходил до 60 человек. Первым руководителем Норильской КМИС был Гелий Александрович Жеребцов, возглавлявший позднее Институт, ныне академик РАН, научный руководитель ИСЗФ СО РАН.

При проведении высокоширотных экспедиций, организованных Институтом на станциях Норильского меридиана в 1972–1984 гг., Норильская КМИС была базовым пунктом, где осуществлялась подготовка аппаратуры и наблюдателей. Во время высокоширотных экспериментов все штатные геофизические наблюдения на Норильской КМИС проводились по расширенной программе и, как правило, к ним добавлялись виды геофизических наблюдений, необходимые для планируемого эксперимента.

Норильская КМИС является важнейшим звеном мировой сети станций мониторинга околоземного космического пространства. Получаемые данные используются в отечественных и международных исследовательских программах. В 2024 г. сотрудниками КМИС была налажена передача минутных данных о состоянии магнитного поля Земли, получаемых на КМИС, в Аналитический центр геомагнитных данных, функционирующий на базе Геофизического центра Российской академии наук. Таким образом Норильская КМИС была включена в сеть магнитных обсерваторий и станций, обеспечивающих свободный доступ российским ученым к данным мониторинга магнитного поля Земли высокого качества. В табл. 3.7.1. приведен перечень магнитометрических приборов Норильской КМИС.

Таблица 3.7.1

Основные элементы прибора	Название прибора	Назначение
	Феррозондовый инклинометр/деклинометр MAG 01H	Определение склонения D и наклона I магнитного поля Земли
	Оверхаузеровский протонный магнитометр POS-1	Измерение модуля вектора магнитного поля (F)
	Трехкомпонентная феррозондовая станция LEM1-008	Измерение вариаций горизонтальной (H) и вертикальной (Z) компонент магнитного поля, измерение склонения D
	Трёхкомпонентная кварцевая станция КВАРЦ	

Мониторинг параметров ионосферы проводится с помощью цифрового дигизонда DPS-4 и ЛЧМ-приемника.

Регистрация частиц солнечного и галактического происхождения, достигающих поверхности Земли, осуществляется с использованием супермонитора NM64.

Для поддержания качества получаемых данных, а также для выполнения фундаментальных и прикладных научных задач приборная база Норильской КМИС обновляется и модернизируется. Так, в рамках соглашения о научном сотрудничестве между Геофизическим центром Российской академии наук и Институтом солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук для изучения суббуревых событий на станции был установлен и запущен в эксплуатацию скалярно-векторный магнитометр POS-4 (рис. 3.7.2), позволяющий измерять модуль вектора магнитного поля Земли и две его ортогональные составляющие.



Рис. 3.7.2. Скалярно-векторный магнитометр POS-4 в вариационном павильоне КМИС

3.7.1. Выносной наблюдательный пункт Исток



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

Выносной наблюдательный пункт (НП) «Исток» Норильской КМИС ИСЗФ СО РАН расположен в тундре на расстоянии 100 км от г. Норильск на оз. Пясино. НП «Исток» предназначен для мониторинга оптических и космофизических явлений в высоких широтах в условиях минимума промышленных и оптических (подсветка города) помех. В НП «Исток» ведется непрерывная круглосуточная регистрация сигналов навигационных систем, вариаций и абсолютных значений геомагнитного поля, интенсивности космических лучей, авроральных оптических явлений. Данные используются при прогнозировании геомагнитных возмущений, условий дальнего распространения радиоволн, условий работы орбитальных космических аппаратов и при изучении динамики магнитосферных бурь.

В НП «Исток» установлены:

1. Индукционный магнитометр для регистрации геомагнитных пульсаций.
2. Приемник сигналов навигационных систем ГЛОНАСС/GPS Javad-DELTA-G3T с антенной RingAnt-G3T.
3. Оптический комплекс, включающий:
 - спектрограф Shamrock 303i;
 - широкоугольные обзорные камеры CSDU-285 и SDU-415C.

Система спутникового интернета позволяет отправлять данные наблюдений на сервер Института практически со всех инструментов КМИС с любой скважностью, вплоть до реального времени.

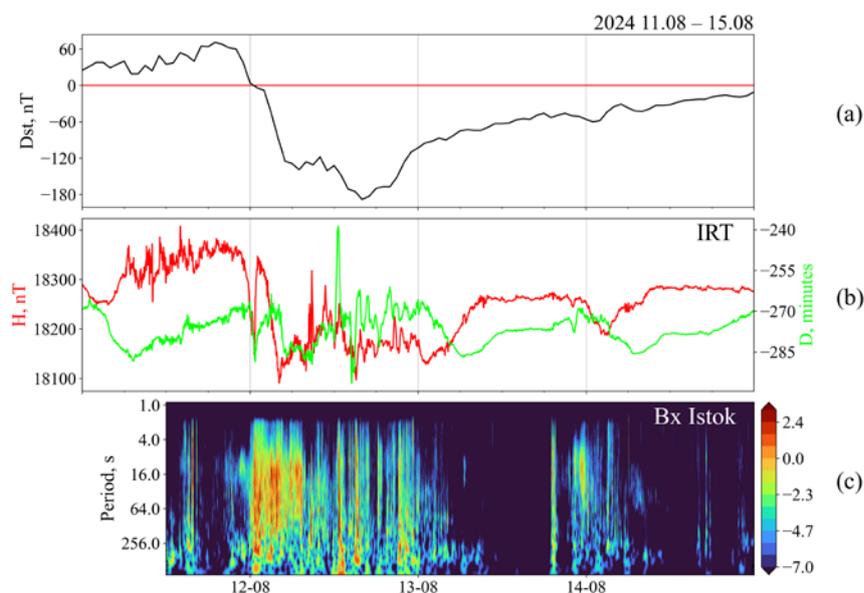


Рис. 3.7.1.2. Вариации Dst -индекса (a), H -компоненты и склонения D магнитного поля на ст. Патроны (b), а также вейвлет-спектрограмма геомагнитных пульсаций V_x -компоненты на ст. Исток (c) во время сильной магнитосферной бури 11–15 августа 2024 г.

3.8. Центр коллективного пользования «Ангара»

ЦКП «Ангара» представляет собой ряд инструментов нового поколения, позволяющих получать уникальные данные по солнечной активности и ее проявлениям в околоземном космическом пространстве. Инструменты и установки расположены в обсерваториях ИСЗФ СО РАН и организаций РАН (рис. 3.8.1). В настоящее время в ЦКП «Ангара» входит следующее научное оборудование:

- Автоматизированный солнечный телескоп;
- Астроизмерительный комплекс;
- Комплекс цифровых ионозондов DPS-4;
- Магнитометрический комплекс;
- Многопозиционный ионозонд с линейной частотной модуляцией излучаемого сигнала (ЛЧМ-ионозонд);
- Оптический комплекс;
- Прибайкальская сеть приемников ГЛОНАСС/GPS;
- Саянский спектрографический комплекс космических лучей;
- Сеть когерентных ионосферных КВ-радаров;
- Солнечный телескоп оперативных прогнозов;
- Иркутский радар некогерентного рассеяния, уникальная научная установка рег. № 01-28.

В 2024 г. на оборудовании ЦКП велась регулярная работа по мониторингу состояния околоземного космического пространства. Результаты наблюдений использованы при выполнении программы фундаментальных научных исследований. С ЦКП сотрудничает ряд родственных научных организаций, по итогам работы центра ежегодно публикуются около 100 научных статей и докладов на научных конференциях.

На рис. 3.8.2. показаны пункты обращения к сайту ЦКП «Ангара» (<http://скр-angara.iszf.irk.ru/>) в 2024 г. С 2013 г. по сегодняшний день количество посещений сайта достигло 2729 из 38 стран мира.

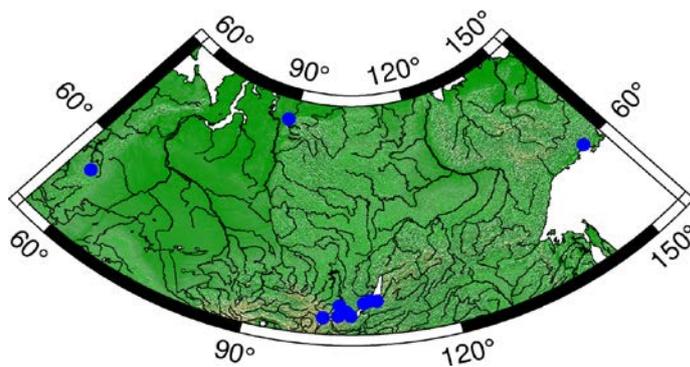


Рис. 3.8.1. Расположение экспериментального оборудования ЦКП «Ангара»



Рис. 3.8.2. Пункты обращения к сайту ЦКП «Ангара» в 2024 г.

3.9. Уникальные научные установки

3.9.1. Радиогелиограф (рег. номер 4138190).

УНУ «Радиогелиограф» — единственный в России инструмент, позволяющий получать изображения Солнца в микроволновом диапазоне длин волн с высоким пространственным разрешением, — находится в Тункинской долине в 220 км от Иркутска. Он состоит из трех Т-образных антенных решеток, покрывающих частотные диапазоны 3–6, 6–12 и 12–24 ГГц с количеством антенных постов 128, 192 и 206 соответственно. Максимальная база Радиогелиографа составляет ~ 1 км, что позволяет достигать пространственного разрешения до 4 угл. сек и чувствительности до 0.01 с.е.п. Угол обзора Радиогелиографа позволяет отследить динамику коронального выброса на расстояниях до $\sim 1R_{\odot}$. Параметры приемных систем при проведении наблюдений могут настраиваться в зависимости от научной задачи.



Рис. 3.9.1.1. Антенное поле Радиогелиографа

Основные научные задачи Радиогелиографа:

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

В 2024 г. время наблюдений на Радиогелиографе составило 100 % запланированного, с 0 до 10 ч UTC в летнее время и с 2 до 8 UT в зимнее. Именно непрерывный режим работы позволяет фиксировать все события, попадающие в диапазон наблюдений. На рис. 3.9.1.2. представлено самое сильное событие, зарегистрированное Радиогелиографом с момента запуска. Вспышка интенсивностью X3,3 сопровождалась крупным корональным выбросом массы и вошло в десятку самых сильных событий с начала 25-го цикла активности.

Ежедневные изображения и данные наблюдений доступны на сайте: <http://badary.iszf.irk.ru/>. Архив данных Радиогелиографа доступен по адресу <https://ftp.rao.istp.ac.ru/SRH/>. Описание УНУ «Радиогелиограф» — на сайте НТИРФ <https://ckp-rf.ru/catalog/usu/4138190/>.

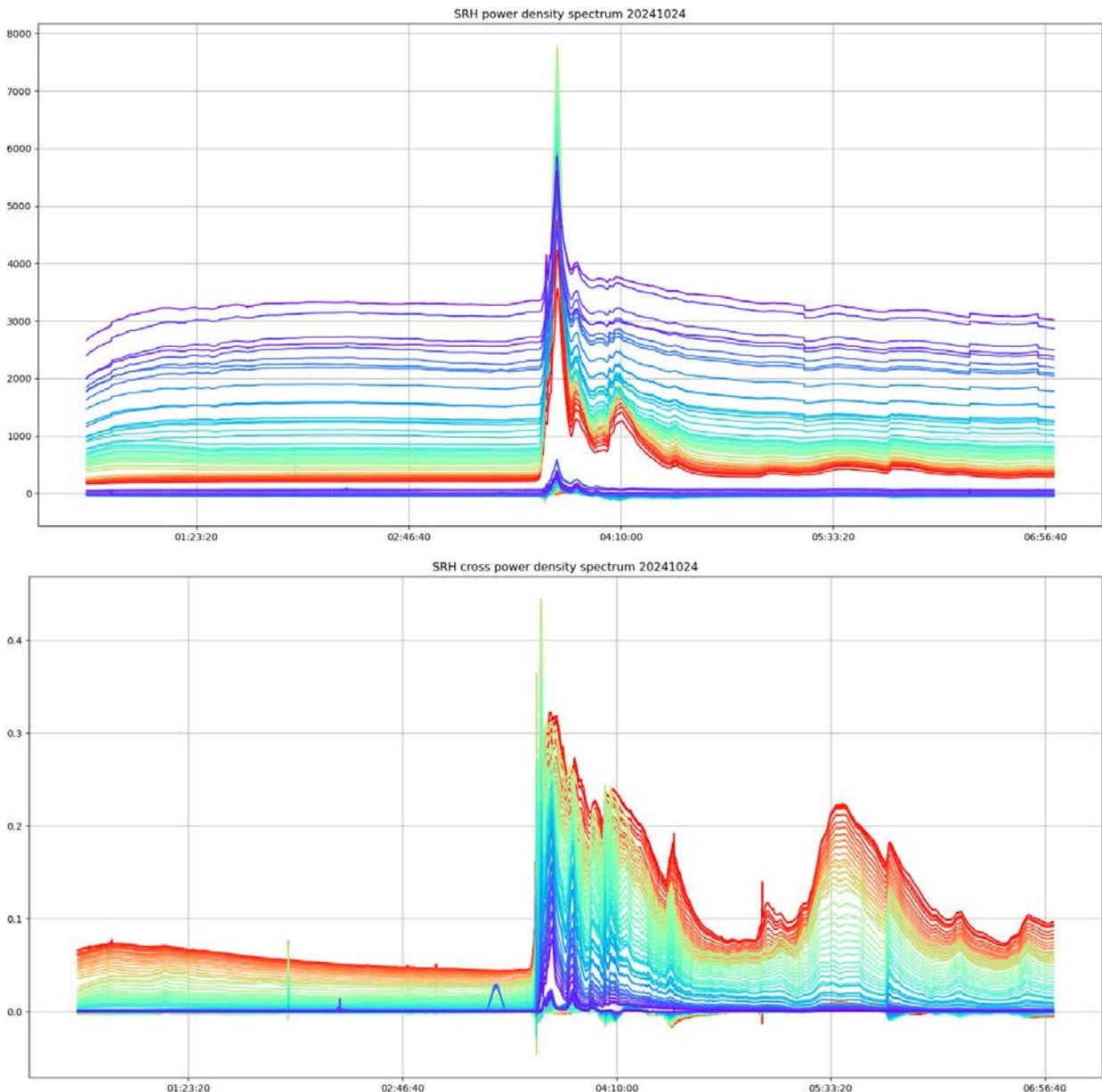


Рис. 3.9.1.2. — интегральный поток (верхняя панель) и корреляционные кривые (нижняя панель) Радиогелиографа 3–24 ГГц от 24.10.2024. Красный цвет — нижняя частота 2.8 ГГц, синий — 24 ГГц.

3.9.1.1. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Радиогелиограф

В 2024 г. на Сибирском радиогелиографе (СРГ) начаты регулярные наблюдения Солнца на всех трех антенных решетках 3–6, 6–12, 12–24 ГГц. Ежедневные наблюдения включают:

- наведение антенн на Солнце до момента запуска сбора данных;
- включение питания облучателей, гетеродинов, приемных модулей;
- запуск сбора данных;
- построение и публикация в Интернете спектров полного потока и кросс-спектров;
- построение и публикация в Интернете изображений Солнца на трех частотах, принадлежащих различным диапазонам частот (различными антенными решетками) [<https://badary.iszf.irk.ru/srhCorrPlot.php>];
- сбор данных телеметрии — слежение за состоянием антенн и приемников;
- оперативный ремонт антенного и приемного оборудования;

- остановка сбора данных, перевод антенн по наведению в положение, соответствующее оптимальной нагрузке на привод;
- публикация исходных данных в Интернете [<http://ftp.rao.istp.ac.ru>].

Одной из задач при наблюдениях Солнца на радиотелескопах является абсолютная калибровка — привязка значений сигналов антенн к реальным физическим величинам. Как правило, антенные сигналы привязывают к антенной температуре или к спектральной плотности потока. Сложность абсолютной калибровки солнечных радиотелескопов состоит в невозможности использования известных космических радиоисточников по причине малого диаметра и низкой чувствительности антенн солнечных интерферометров. Обычно изображения Солнца, полученные солнечным радиотелескопом, привязывают к яркостной температуре диска Солнца. Для этого строят гистограмму изображения, и разницу между пиками, соответствующими уровнями диска Солнца и неба, полагают равной известной яркостной температуре солнечного диска. Предполагается, что яркостная температура диска не меняется со временем. Такой подход исключает возможность измерения яркостной температуры диска, изменяющейся во времени, и к тому же не учитывает изменение контраста между интерференционными откликами на протяженные и компактные детали, который зависит от часового угла и склонения Солнца. Для Сибирского радиогелиографа (СРГ), использующего эквидистантные антенные решетки, возникают сложности калибровки по гистограмме в моменты перекрытия откликов антенн на солнечный диск в области верхних частот рабочего диапазона. Поэтому для СРГ вводится абсолютная калибровка с использованием в качестве калибратора хвойного леса, находящегося в 100–200 м от обсерватории. Для запуска этой процедуры необходимо измерить оптическую толщину леса во всем диапазоне частот СРГ 3–24 ГГц. Измерения начались в январе 2024 г. и будут закончены в январе 2025 г. В настоящее время абсолютная калибровка СРГ по лесу уже используется. Достоверность калибровки контролируется по данным других солнечных радиотелескопов (в основном по данным спектрополяриметра в Нобееме). После завершения процедуры определения оптической толщины леса необходимость такого контроля отпадет.

На рис. 3.9.1.1.1–3.9.1.1.3 показаны этапы абсолютной калибровки антенн СРГ всех диапазонов. После окончания наблюдений антенны наводятся на лес, затем на небо. Исходя из того, что антенная температура леса должна быть равна его яркостной температуре, отклики антенн привязывают к спектральной плотности потока. Эти значения используются также для привязки видностей, измеренных коррелятором СРГ, к спектральной плотности потока. Изображение, построенное из таких видностей, имеет размерности спектральная плотность потока на радиан или кельвин в зависимости от желания пользователя.

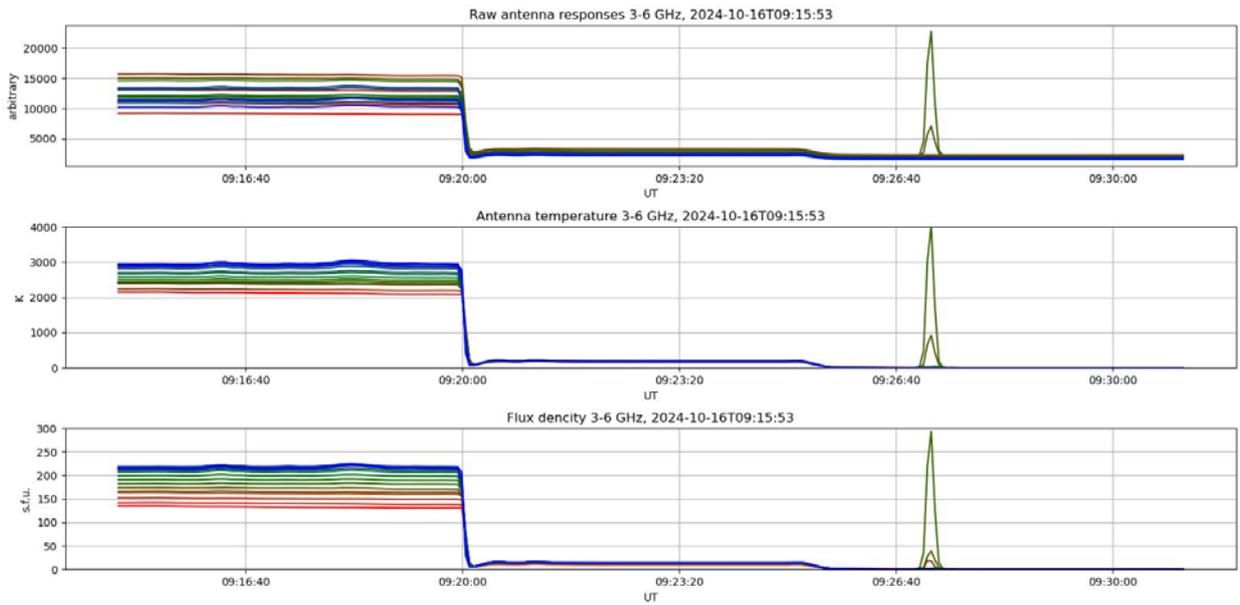


Рис. 3.9.1.1.1. Процесс абсолютной калибровки антенн СРГ диапазона 3–6 ГГц

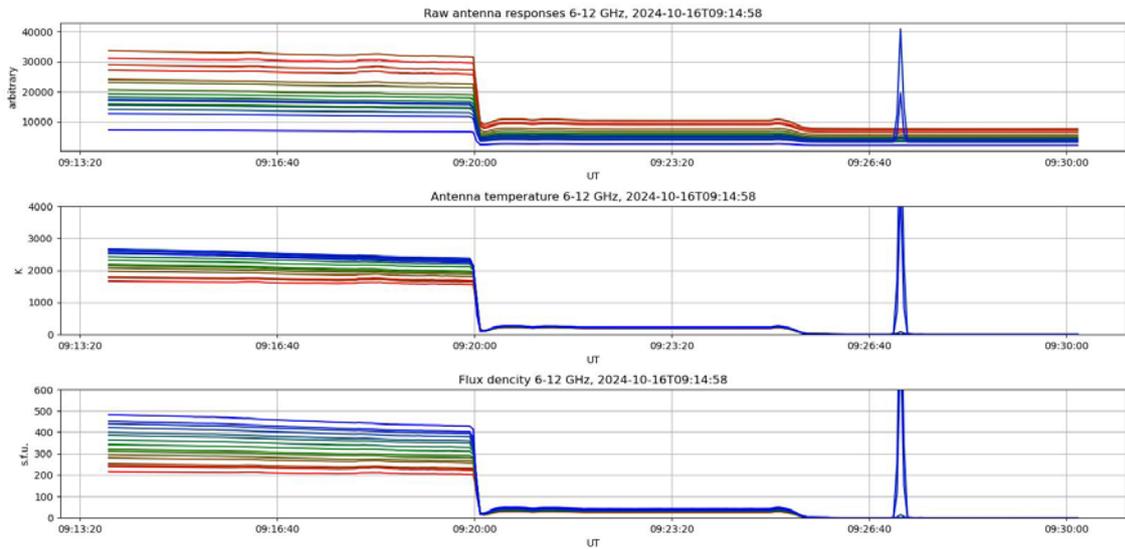


Рис. 3.9.1.1.2. Процесс абсолютной калибровки антенн СРГ диапазона 6–12 ГГц

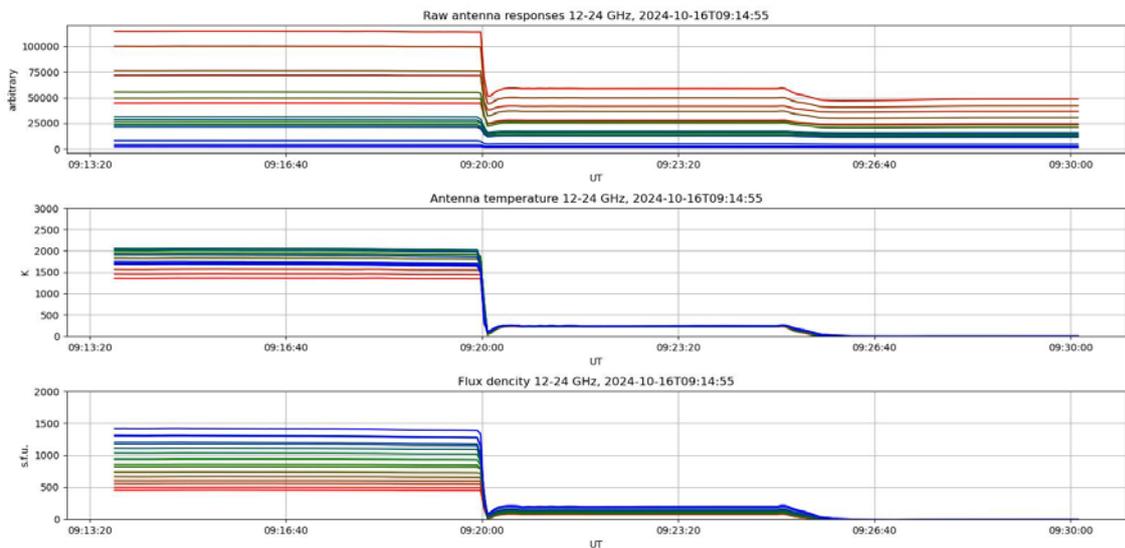
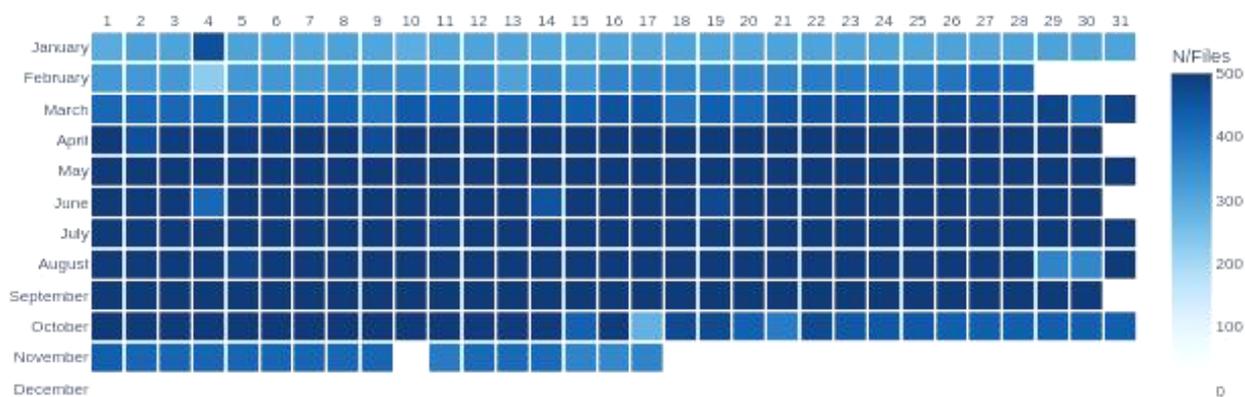


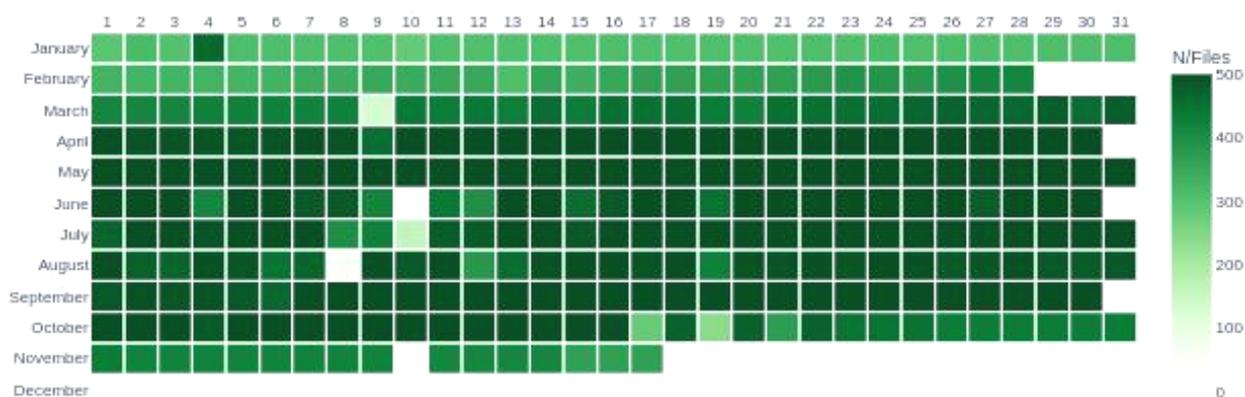
Рис. 3.9.1.1.2. Процесс абсолютной калибровки антенн СРГ диапазона 12–24 ГГц

Статистика потерь данных СРГ в 2024 г. показана на рис. 1.1.4. Насыщенность цвета соответствует количеству записанных данных. Плавное изменение насыщенности в течение года отражает уменьшение интервала наблюдений в зимнее время относительно летнего (зимой 6 ч, летом 10 ч). Видно, что потери данных составляют несколько процентов. Основная причина — отключения электроэнергии. Выход из наблюдений отдельных антенн вызывается в основном отказом двигателей и облучателей. Антенные приемные модули отказывают реже. Механические отказы (редуктор) самые редкие.

SRH0306



SRH0612



SRH1224

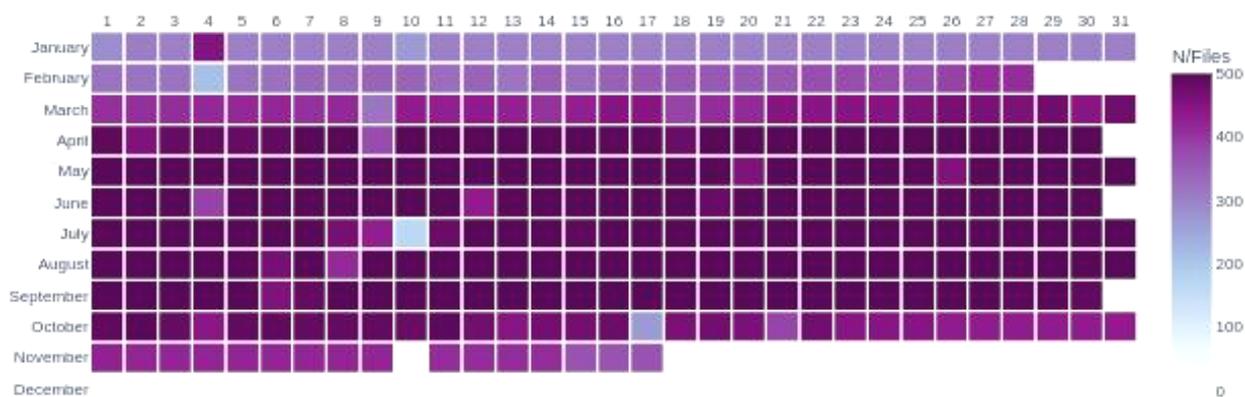


Рис. 3.9.1.1.3. Статистика потерь данных СРГ в 2024 г. Насыщенность цвета показывает количество данных. Общее количество потерь составляет несколько процентов в год

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



Рис. 3.9.2.1. Внешний вид ИРНР

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

Основные научные задачи ИРНР:

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

В 2024 г. на научном оборудовании в ОРДА проводился ряд экспериментов, предназначенных для отработки новых методик, модернизации аппаратуры и программного обеспечения (ПО):

- измерения параметров ионосферной плазмы;
 - накопление статистики по обнаруженным космическим объектам (КО);
 - измерения параметров приемного тракта с помощью нового устройства калибровки;
 - настройка приемного тракта;
 - тестирование формирователя ФМ-сигналов;
 - тестирование нового комплекта выносных приемных устройств (ВУП);
 - накопление статистики при работе системы синхронизации ИРНР—РЛК.
- В 2024 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры и ПО ИРНР:
- доработка системы калибровки приемного тракта;
 - испытание нового комплекта ВУП;
 - доработка ПО обработки ионосферной информации в режиме реального времени;
 - доработка ПО обработки спутниковой информации в режиме реального времени.

Общее время наблюдений в активном режиме составило ~39 суток, в остальное время наблюдения велись в пассивном режиме. Периоды работы радара приведены в таблице 3.9.2.1.

Таблица 3.9.2.1. Эксперименты, проведенные на УСУ «ИРНР» в 2024 г.

Период	Кол-во суток	Эксперимент
с 1 января	—	запуск пассивных наблюдений с возможностью сопровождения звездных радиоисточников
22–26 января	5	наблюдения НР, КО
13–14 февраля	2	наблюдения НР, КО, тестирование нового ВУП
18–22 марта	4	наблюдения НР, КО
24–27 марта	4	наблюдения НР, КО, переменные коды, буря
08–09 апреля	2	отладка нового ВУП, калибратора, измерение параметров
10–17 мая	8	наблюдения НР, КО, буря
17–20 июня	4	наблюдения НР, КО
ноябрь	10	плановые наблюдения
остальное время до декабря 2024 г.	—	пассивные наблюдения с сопровождением звездных радиоисточников

ИРНР зарегистрирован в каталоге уникальных научных установок: <https://ckp-rf.ru/catalog/usu/77733>.

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



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

Основные научные задачи БСВТ:

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

В 2024 г. проводились работы по модернизации аппаратуры БСВТ, разработке и совершенствованию методов наблюдений. Периоды работ приведены в таблице 3.9.3.1. Общее время наблюдений составило 323 сут.

Таблица 3.9.3.1. Эксперименты, проведенные на УНУ БСВТ в период 01–11.2024

Период	Кол-во суток	Эксперимент
13.05–09.10.2024	63	Мониторинг полного диска Солнца в линии H α
10.01–05.11.2024	105	Мониторинг полного диска Солнца в линии K CaII
26.08–24.09.2024	20	Макетные работы с системой адаптивной оптики БСВТ и юстировка оптических элементов двухзеркальной адаптивной системы БСВТ тип/тилт-коррекции фазовых искажений, отработка контура постдетекторной обработки
01.02–19.11.2024	323	Мачтовые измерения средних и турбулентных характеристик флуктуаций скорости ветра, температуры и показателя преломления воздуха на высотах 4 и 30 м

БСВТ в каталоге уникальных научных установок: <https://ckp-rf.ru/usu/200615/>.

Публикации, выполненные по результатам исследований на УНУ БСВТ:

Shikhovtsev A. Reference optical turbulence characteristics at the Large Solar Vacuum Telescope site // Publications of the Astronomical Society of Japan. 2024. Vol. 76, iss. 3. P. 538–549. DOI: 10.1093/pasj/psae031.

Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г. Вертикальные профили оптической турбулентности и оценка внешнего масштаба турбулентности над Байкальской астрофизической обсерваторией // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т. 37, № 09. С. 808–814. DOI: 10.15372/AOO20240912.

Shikhovtsev A.Y., Qing C., Kopylov E.A., Potanin S.A., Kovadlo P.G. Vertical distribution of optical turbulence at the Peak Terskol Observatory and Mount Kurapdag // Remote Sens. 2024. Vol. 16, 2102. DOI: 10.3390/rs16122102.

Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Киселев А.В., Леженин А.А. Методы оценки атмосферных характеристик в приложении к наземным астрономическим телескопам // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Взаимодействие полей и излучения с веществом. Труды XVIII Конференции молодых ученых. Иркутск, 2024. С. 297–299. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-297.

Дрига М.Б., Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г. Метод локализации изображения солнечного пятна в фокальной плоскости датчика Шака — Гартмана с использованием нормализации изображения // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Взаимодействие полей и излучения с веществом. Труды XVIII Конференции молодых ученых. Иркутск, 2024. С. 139–140. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-139.

Шиховцев А.Ю., Хайкин В.Б. Современные методы исследования астроклимата астрономических обсерваторий и потенциальных мест размещения телескопов // Всероссийская астрономическая конференция 2024 г. (ВАК-2024) «Современная Астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр»: сборник тезисов. Нижний Архыз, 2024. С. 262.

Лукин В.П., Большасова Л.А., Шиховцев А.Ю. Переход от многоконтурных систем адаптивной оптики для солнечных телескопов к мультисопряженным // Всероссийская астрономическая конференция 2024 г. (ВАК-2024) «Современная Астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр»: сборник тезисов. Нижний Архыз, 2024. С. 249–250.

Носов В.В., Лукин В.П., Носов Е.В., Торгаев А.В. Характеристики турбулентности внутри Большого солнечного вакуумного телескопа // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2024. С. А89–А93.

Борзилов А.Г., Коняев П.А., Лукин В.П. Адаптивная оптическая система коррекции изображения для солнечного телескопа // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2024. С. А19–А22.

Носов В.В., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Носов Е.В., Торгаев А.В. Атмосферная турбулентность в Байкальской астрофизической обсерватории // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. [Электронный ресурс]. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2024. С. А83–А88.

Borzilov A.G., Konyaev P.A., Lukin V.P. Adaptive optical image correction system for the Large Solar Vacuum Telescope // Proc. 21th International conference «Laser Optics» (ICLO-2024). Saint Petersburg, 2024. P. 163. DOI: 10.1109/ICLO59702.2024.10624057.

Shikhovtsev A.Y., Kovadlo P.G. Advanced observation for geophysics, climatology and astronomy // Appl. Sci. 2024. Vol. 14, 5439. DOI: 10.3390/app14135439.

3.9.4. Оптические инструменты (рег. номер 4138180)

Уникальная научная установка «Оптические инструменты» Национального геофизического комплекса РАН находится на территории Геофизической обсерватории, расположенной в 100 км от Иркутска в п. Торы, респ. Бурятия (рис 3.9.4.1).



Рис. 3.9.4.1. Внешний вид здания УНУ «Оптические инструменты» НГК с полусферическими иллюминаторами для проведения наблюдений (вверху). Внизу: Интерферометр Фабри — Перо; камера всего неба; быстрый фотометр (передний план), спектрометры видимого и инфракрасного диапазона (задний план)

Основные научные задачи УНУ «Оптические инструменты»:

1. Регистрация спектрального состава естественного ночного свечения верхней атмосферы, его локального пространственного распределения и временной динамики основных линий; определение скорости ветра и температуры нейтральной компоненты ночной верхней атмосферы.

2. Исследование естественных вариаций интенсивности свечения, температуры и циркуляции нейтральной компоненты атмосферы в области мезосферы — нижней термосферы. Исследование динамики волновых и приливных процессов верхней атмосферы, исследование химических процессов верхней атмосферы, исследование взаимодействия ионизированной и нейтральной компонент верхней атмосферы.

3. Исследование проявлений солнечной активности и геомагнитных бурь в вариациях параметров верхней атмосферы средних широт; исследование среднеширотных сияний, вариаций температуры и циркуляции верхней атмосферы, динамики химических реакций под действием выпадающих частиц магнитосферного происхождения и вариаций конвекции магнитосферной и ионосферной плазмы.

4. Исследование влияния крупномасштабных процессов в нижней атмосфере (планетарные волны, циклоны и антициклоны, атмосферные фронты и грозы, внезапные стратосферные потепления) на динамику, температуру, химический состав и ночное свечение верхней атмосферы Земли.

В 2024 г. на оптических инструментах проводилась регулярная ежесуточная регистрация естественного свечения ночной атмосферы. За период наблюдений зарегистрировано 19 случаев среднеширотного сияния во время геомагнитных бурь. Эффекты самой мощной геомагнитной бури 10–11 мая регистрировались до 17.05.2024. К сильным можно отнести также бури 10–11.10.2024, 23–24.03.2024, 12.09.2024 и 03.03.2024 (рис. 3.9.4.2). Среднеширотные сияния наблюдаются в основном на главной фазе бури. В 12 случаях зарегистрированы структуры, соответствующие SAR-дугам.

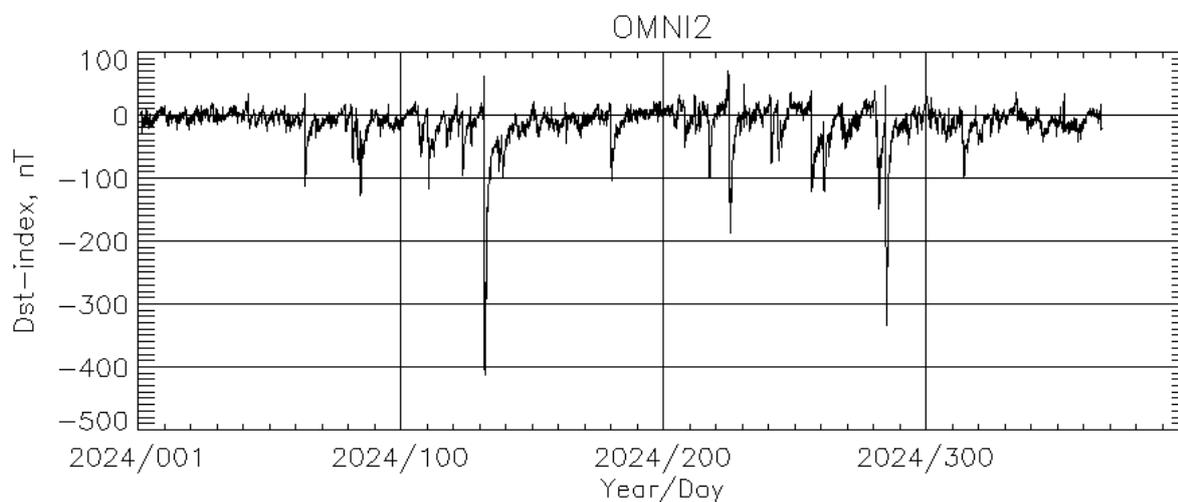


Рис. 3.9.4.2. Динамика индекса *Dst* в 2024 г.

В 2024 г. произошло также четыре внезапных стратосферных потепления (рис. 3.9.4.3), три из которых сопровождалась инверсией зонального ветра на уровне 10 гПа, усредненного по долготе в полосе широт 60°–80° N. Погодные условия позволили наблюдать параметры нейтральной верхней атмосферы во время событий 21.01.2024, 22.02.2024 и 04.03.2024.

С помощью оборудования УНУ были проведены экспериментальные кампании по исследованию свечения ионосферы, стимулированного мощным коротковолновым излучением стенда СУРА.

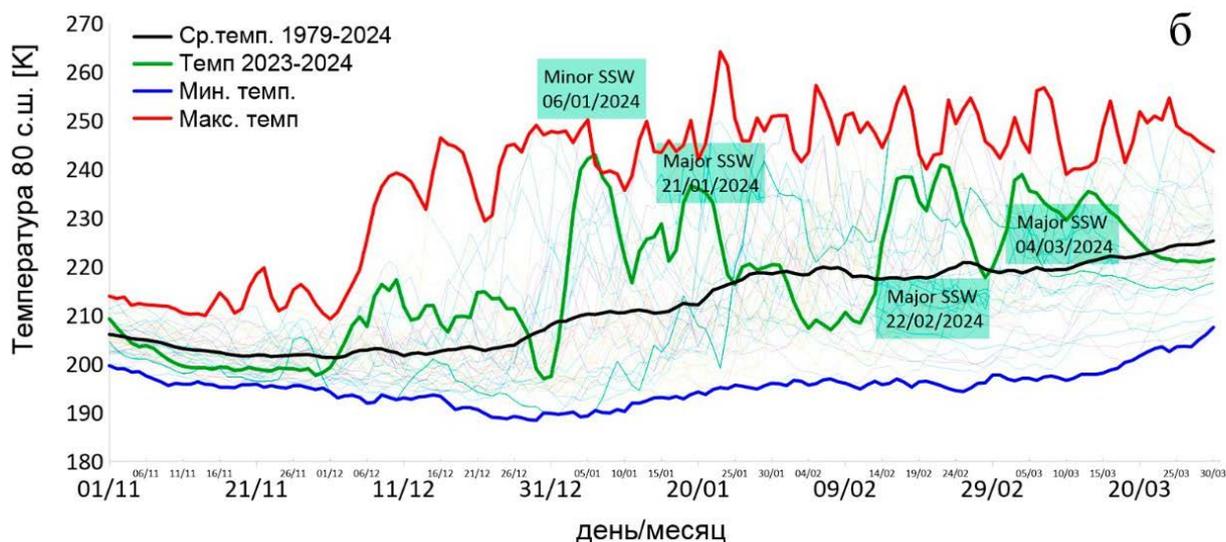


Рис. 3.9.4.3. Динамика усредненной по широте температуры на уровне 10 гПа (стратосфера) в 2024 г.

На базе инструментов УНУ в 2024 г. была проведена практика студентов физического факультета ИГУ и научно-исследовательский интенсив Международной Байкальской школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых.

УНУ «Оптические инструменты» внесена в реестр Научно-технологической инфраструктуры Российской Федерации 10.06.2024 г. (рег. номер 4138180) как объект Национального гелиогеофизического комплекса РАН, введенного в эксплуатацию в 2022 г.

Публикации:

Жеребцов Г.А., Ратовский К.Г., Медведева И.В. Долговременные вариации максимума электронной концентрации и температуры области мезопаузы: зависимости от солнечной, геомагнитной и атмосферной активности, долговременные тренды // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 5–16. DOI: 10.12737/szf-104202401.

Михалев А.В. Полярные сияния в периоды экстремальных геомагнитных бурь: особенности среднеширотного сияния 11 февраля 1958 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 60–66. DOI: 10.12737/szf-102202406.

Ткачев И.Д., Белецкий А.Б., Грач С.М., Насыров И.А., Шиндин А.В., Когогин Д.А. Искусственное оптическое свечение ионосферы в линиях 557.7 нм и 391.4 нм, индуцированное КВ-радиоизлучением стенда «Сура» // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2024, Т. LXVII, № 10. С. 811–818. DOI: 10.52452/00213462_2024_67_10_811.

Beletsky A.V., Nasyrov I.A., Syrenova T.E., Kogogin D.A., Dementiev V.O., Podlesny S.V., Emelyanov V.V., Vasiliev R.V. Traveling disturbances in airglow at 630.0 nm during impact to ionosphere of high-frequency radio emission of the SURA facility // Atmospheric and Oceanic Optics. 2024. Vol. 37, Suppl. 1. P. S199–S207. DOI: 10.1134/S1024856024701409

Duann Y., Chang L.C., Chiu Y.-C., Salinas C.C.J.H., Dmitriev A.V., Ratovsky K.G., Medvedeva I.V., Vasilyev R., Mikhalev A.V., Liu J.Y., Lin C.H., Fang T.-W.. The comparison and validation of photochemical models for atomic oxygen ion retrieval from ground-based observations of 630.0 nm airglow near Irkutsk // Preprint Geoscience Letter (Research Square Preprints). DOI: 10.21203/rs.3.rs-4677484/v1.

Gavrilov N. M., Popov A. A., Dalin P., Perminov V.I., Pertsev N.N., Medvedeva I.V., Ammosov P.P., Gavrilyeva G.A., Koltovskoi I.I. Multiyear variations of time-correlated mesoscale OH temperature perturbations near the mesopause at Maymaga, Tory and Zvenigorod // Adv. Space Res. 2024. Vol. 73. Iss. 7. P. 3408–3422. DOI: 10.1016/j.asr.2023.05.049.

Kurkin V. I., Medvedeva I. V., Podlesnyi A. V. Effect of sudden stratosphere warming on characteristics of medium-scale traveling ionospheric disturbances in the Asian region of Russia // *Adv. Space Res.* 2024. Vol. 73. Iss. 7. P. 3613–3623. DOI: 10.1016/j.asr.2023.09.020.

Mishin V.V., Klibanova Yu. Yu., Marchuk R.A., Mikhalev A.V., Pensikh Y.V. // Midlatitude bursts of PiB geomagnetic pulsations and night airglow during stormtime sawtooth event // *Adv. Space Res.* 2024. Vol. 73, no. 7. P. 3708–3721. DOI: 10.1016/j.asr.2023.06.032.

Syrenova T.E., Beletsky A.B., Vasilyev R.V. Geo-referencing images of wide-angle optical systems. *Tech. Phys.* 2024. Vol. 69. P. 424–430. DOI: 10.1134/S1063784224010407.

Duann Y., Chang L.C., Chiu Y.-C., Salinas C.C.J.H., Dmitriev A.V., Ratovsky K.G., Medvedeva I.V., Vasilyev R., Mikhalev A.V., Liu J.Y., Lin C.H., Fang T.-W. Atomic oxygen ion retrieval from 630.0 nm airglow during geomagnetically quiet periods: a mid-latitude case study near Irkutsk // *Geoscience Lett.* 2024. Vol. 11. P. 55. DOI: 10.1186/s40562-024-00370-6.

Белецкий А.Б., Михалев А.В., Сыренова Т.Е., Васильев Р.В. Структура и динамика среднеширотных сияний в 25-м солнечном цикле по данным оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса РАН // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» – Муром 2024. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-284-290.

Белецкий А.Б., Насыров И.А., Сыренова Т.Е., Когогин Д.А., Дементьев В.О., Емельянов В.В., Васильев Р.В. Возмущения свечения атмосферы на длине волны 630.0 нм при воздействии на ионосферу высокочастотного радиоизлучения стенда СУРА // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» – Муром 2024. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-291-300.

Белецкий А.Б., Насыров И.А., Сыренова Т.Е., Когогин Д.А., Дементьев В.О., Подлесный С.В., Емельянов В.В., Васильев Р.В. Перемещающиеся возмущения в эмиссии атомарного кислорода 630 нм во время воздействия на ионосферу мощного коротковолнового излучения стенда СУРА // *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Электронный ресурс. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. 1174–1179. DOI: 10.56820/OAO30E32.*

Beletsky A.B., Syrenova T.E., Mikhalev A.V., Marchuk R.A., Podlesnyi S.V., Vasiliev R.V. Mid-latitude auroras of the solar cycle 25 according to optical instruments of the National Heliogeophysical Complex // *Proc. XLVII Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”*. Apatity, 2024. P. 12–15. DOI: 10.51981/2588-0039.2024.47.002.

Белецкий А.Б., Ткачев И.Д., Грач С.М., Насыров И.А., Когогин Д.А., Шиндин А.В., Дементьев В.О., Васильев Р.В., Легостаева Ю.К. Предварительные результаты экспериментальных кампаний 2024 года по регистрации свечения ионосферы, индуцированного мощным коротковолновым излучением стенда СУРА // *Материалы XXII международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. Москва, ИКИ РАН, 11–15 ноября 2024 г. С. 436. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.

Дементьев В.О., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Когогин Д.А., Емельянов В.В. Оценка статистической взаимосвязи интенсивности искусственного свечения ионосферы на длине волны 630 нм с индексами состояния ионосферы и космической погоды в рамках экспериментов на стенде «СУРА» в период 2021–2022 гг. // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» – Муром 2024. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-318-326.

Емельянов В.В., Когогин Д.А., Максимов Д. С., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Шиндин А.В., Грач С.М., Загреддинов Р.В. Диагностика возмущенной области ионосферы по данным оптических измерений и ГНСС радиозондирования // *Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XVIII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом»*. Иркутск, 01–07 сентября 2024 г. С. 141–143. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-141.

Когогин Д.А., Емельянов В.В., Максимов Д.С., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Шиндин А.В., Грач С.М., Загретдинов Р.В. Исследование возмущенной мощным радиоизлучением УНУ стенд СУРА области ионосферы по данным совместного анализа снимков ночного неба в линии 630 нм и карт вариаций полного электронного содержания в экспериментах 2021-2023 гг. // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» – Муром 2024. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-307-311.

Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстикова М.В. Корреляционный анализ короткопериодной волновой активности в области мезопаузы и F2-слое ионосферы // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Электронный ресурс. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2024. С. 1126–1131. DOI: 10.56820/ОАО30E22.

Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстикова М.В. Сравнительный анализ короткопериодной изменчивости температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации // Материалы XXII международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 11–15 ноября 2024 г. С. 446. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a; ISBN 978-5-00015-067-2.

Перебоева А.А., Сыренова Т.Е., Черткова В.Р., Васильев Р.В. Анализ волновых возмущений в интенсивности 557.7нм, регистрируемых с помощью камер всего неба НГК ИСЗФ СО РАН // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» БШФФ-2024. С. 189–191. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-189.

Подлесный С.В., Михалев А.В. Фотометрия ночной атмосферы земли на основе цветного ПЗС приемника // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XVIII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 01–07 сентября 2024 г. С. 194–195. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-194.

Саункин А.В., Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Гаврильева Г.А. Исследование влияния внезапных стратосферных потеплений на вариации эмиссионного слоя 557.7 нм над обсерваториями Маймага и Торы. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XVIII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». DOI 10.62955/0135-3748-2024-204.

Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В. Эффекты геомагнитной бури 01.12.2023 по данным оптических инструментов НГК и фотоснимкам Иркутского астрономического общества // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - Муром 2024 УДК 550.385.4 DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-301-306.

Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В. Среднеширотные сияния во время геомагнитных бурь по данным оптического комплекса НГК и снимкам гражданских ученых // Материалы Двадцать второй международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 11–15 ноября 2024 г. С. 456. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.

Ткачев И.Д., Белецкий А.Б., Насыров И.А., Грач С.М., Шиндин А.В. Результаты фотометрических измерений искусственного оптического свечения ионосферы в линиях 557,7 нм и 391.4 нм на стенде СУРА // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» – Муром 2024. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-471-477.

Шелков, А. Д., Артамонов М. Ф. Фотометрическая калибровка интерферометров Фабри-Перо НГК РАН по звездам // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XVIII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 01–07 сентября 2024 г. С. 235-236. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-235.

Шелков А. Д., Васильев Р. В., Артамонов М. Ф., Ратовский К. Г. Сопоставление ночных вариаций параметров нейтральной компоненты и концентрации электронов в верхней атмосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XVIII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 01–07 сентября 2024 г. С. 237. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-237.

Syrenova T.E., Beletsky A.B., Vasiliev R.V., Podlesny S.V. Spatiotemporal characteristics of the December 1, 2023 magnetic storm on data from the NHC optical complex and the Irkutsk Regional Astronomical Society // Proc. XLVII Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Apatity, 2024. P. 28–31. DOI: 10.51981/2588-0039.2024.47.006.

3.10. Сеть когерентных радаров СЕКИРА

В рамках развертывания СЕти Когерентных Импульсных РАдаров (СЕКИРА) в ИСЗФ СО РАН в настоящее время функционируют два когерентных радара: в Свердловской области (радар ЕКВ ИСЗФ СО РАН — с конца 2012 г., пункт ионосферных наблюдений «Арти», пос. Арти, территория обсерватории «Арти» ИГФ УрО РАН) и Магаданской области (радар MAGW ИСЗФ СО РАН — с конца 2020 г., пункт ионосферных наблюдений «Магадан», пос. Стекольный, территория обсерватории «Магадан» ИКИР ДВО РАН). Радары предназначены для мониторинга и исследования верхней атмосферы и магнитосферы по данным распространения и рассеяния декаметровых радиоволн в ионосфере.

Приемо-передающее оборудование радаров изготовлено в Университете Лейстера (Соединенное Королевство) и представляет собой стереорадары типа CUTLASS, аналогичные радарам международной сети SuperDARN.

Радары работают в круглосуточном режиме с временным разрешением несколько минут, каждый радар изучает территорию ~1 млн. кв. км. Данные радаров передаются в ИСЗФ СО РАН, где обрабатываются автоматически в режиме реального времени. Непрерывные архивы данных радаров доступны с 2012 г. на <http://sdrus.iszf.irk.ru>. Общий вид радаров показан на рис. 3.10.1.

На радаре выполняются работы широкого спектра, связанные с изучением распространения радиоволн, геофизическими исследованиями воздействия космической погоды на верхнюю атмосферу Земли, детектированием и изучением характеристик перемещающихся ионосферных возмущений.

В 2024 г. при поддержке гранта РФФИ №24-22-00436 был создан нейросетевой алгоритм автоматического определения типов рассеянных сигналов, принимаемых радаром, пригодный для интерпретации данных зондирования 7-, 8- и 16-импульсными последовательностями. Алгоритм автоматически определяет оптимальное число классов принимаемых сигналов, достаточных для описания данных. В рамках решения задачи был предложен способ решения задачи определения минимального числа нейронов в полносвязном слое нейронной сети заданной архитектуры при заданных функциях активации. Экспериментально найдены оптимальные углы разделения сигналов на сигналы с заднего и переднего лепестков диаграммы направленности радара для алгоритма разделения по пороговому углу места, необходимые для более корректного обучения алгоритма. Проведены длительные тестовые наблюдения сигналов на вспомогательной фазированной антенной решетке радара MAGW.



Рис. 3.10.1. Общий вид радаров ЕКВ ИСЗФ СО РАН (вверху) и MAGW ИСЗФ СО РАН

Публикации:

Бернгардт О.И., Федоров Р.Р. Сигналы, рассеянные в главном и заднем лепестках диаграммы направленности антенн радаров когерентного рассеяния ИСЗФ СО РАН // Известия ВУЗов. Радиофизика (в печати).

Бернгардт, О.И., Минимальное количество нейронов в полносвязных слоях данной нейронной сети (первое приближение) // Материалы 40-й Международной конференции «Ляпуновские чтения – 2024». Иркутск, 2–6 декабря 2024 г. Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2024. С. 20–23.

Berngardt O.I. Minimum number of neurons in fully connected layers of a given neural network (the first approximation) // arXiv: 2405.14147 [cs.LG]. DOI: 10.48550/arXiv.2405.14147.

4. Научно-организационная деятельность

4.1. Общие сведения

В 2024 г. Институт выполнял научно-исследовательские работы 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 2024 г. и согласно приоритетным направлениям Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021–2030 гг. (ПФНИ), утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р:

1. Проекты государственного задания на 2024 г.:

1.1. Направление ПФНИ 1.3.6 «Радиофизика и электроника, акустика»:

1.1.1. Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн (рег. номер 121040600088-8, руководитель проекта — член-корр. А.В. Медведев).

1.1.2. Теоретические и экспериментальные исследования распространения дециметровых радиоволн в волноводе Земля — ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов (рег. номер 122011900185-0, руководитель проекта — д.ф.-м.н. В.И. Куркин).

1.2. Направление ПФНИ 1.5.9 «Науки об атмосфере, климатология»:

1.2.1. Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий (рег. номер 121040600085-7, руководитель проекта — акад. Г.А. Жеребцов).

1.2.2. Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике (рег. номер 121040600078-8, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев).

1.3. Направление ПФНИ 1.3.7 «Астрономия и исследования космического пространства»:

1.3.1. Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера (рег. номер 121040600077-2, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин).

1.3.2. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля (рег. номер 121040500119-0, руководитель проекта — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич).

1.3.3. Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства (рег. номер 121040500118-3, руководитель проекта — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич).

1.3.4. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности (рег. номер 121040500117-6, руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.А. Головки).

1.3.5. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца (рег. номер 121040500116-9, руководители проекта — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов, д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов).

1.3.6. Методы и инструменты астрофизического эксперимента (рег. номер 121040500115-2, руководители проекта — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой).

1.4. Направление ПФНИ 1.3.3 «Ядерная физика и физика элементарных частиц»:

1.4.1. Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей (рег. номер 121040500114-5, руководитель проекта — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов).

2. Работы по 10 грантам Российского научного фонда:

2.1. № 21-72-10139 «МГД-волны как средство изучения природы явлений в системе Солнце — Земля», руководитель — к.ф.-м.н. М.А. Челпанов.

2.2. № 22-17-00146 «Экспериментальное и теоретическое исследование взаимодействия нейтральной и ионизованной компонент атмосферы Земли», руководитель — акад. Г.А. Жеребцов.

2.3. № 22-77-10032 «Взаимодействие ультранизкочастотных волн с частицами кольцевого тока в магнитосфере Земли: теория и эксперимент», руководитель — к.ф.-м.н. О.С. Михайлова.

2.4. № 22-77-10008 «Исследования крупномасштабных явлений в нижней и средней атмосфере и оценка их локального проявления на высотах мезосферы — нижней термосферы», руководитель — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева.

2.5. № 22-72-00049 «Астрооптические свойства и структура турбулентной атмосферы: концепция размещения крупного телескопа», руководитель — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев.

2.6. № 23-27-00322 «Комплексное исследование пространственной структуры ионосферных возмущений по данным распределенных цепей ионозондов вертикального зондирования, приемников GPS/ГЛОНАСС и магнитометров глобальной сети INTERMAGNET в Северном полушарии», руководитель — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская.

2.7. № 23-27-00213 «Исследование глобального и регионального ионосферного отклика на геомагнитные бури на основе статистического анализа и численного моделирования», руководитель — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

2.8. № 23-17-00157 «Разработка методов мониторинга и прогноза состояния ионосферы и качества высокоточной навигации с применением интеллектуального анализа данных», руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.

2.9. № 22-24-00436 «Развитие управляемого данными подхода к анализу ионосферных данных, получаемых на декаметровых радарх когерентного рассеяния», руководитель – к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

2.10. № 22-24-00315 «Спектрально-временная морфология излучения солнечных вспышек в микроволновом диапазоне», руководитель – к.ф.-м.н. Л.К. Кашапова.

2.11. № 24-72-10043 «Разработка методов диагностики характеристик нижней атмосферы с высоким разрешением в приложении к наземным астрономическим телескопам», руководитель – к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев.

2.12. № 24-77-10012 «Ультранизкочастотные волны в околоземном пространстве как активный фактор космической погоды», руководитель – к.ф.-м.н. Д.В. Костарев.

3. Выполнялись работы в рамках создания Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук и прикладные работы в рамках хозяйственных договоров и контрактов.

4.2. Деятельность Ученого совета

Состав Ученого совета Института был утвержден на Конференции научных работников Института 12.05.2022 г. В составе совета — 31 чел. Председателем является директор Института, чл.-корр. РАН А.В. Медведев.

В 2024 г. было проведено 9 заседаний, где заслушивались научные сообщения, рассматривались отчеты и планы научно-исследовательских работ, проведения и участия в научных мероприятиях, утверждались темы диссертационных работ, научные руководители, отчеты по работе аспирантуры и др.

19 и 20 ноября 2024 г. состоялась отчетная научная сессия, на которой были представлены основные результаты научных работ, проведенных учеными Института в течение года. Важнейшими научными результатами за 2024 г. признаны следующие (в порядке ранжирования):

1. Кузнецов А.А. и др. «Исследование процессов ускорения и переноса электронов в солнечной вспышке 6 марта 2023 г. по наблюдениям российских и китайских инструментов».

2. Рубцов А.В. и др. «Прямое доказательство возбуждения дрейфово-компрессионных волн посредством дрейфового резонанса с протонами кольцевого тока в магнитосфере».

3. Пипин В.В. и др. «Сейсмические проявления динамо-волн в вариациях солнечного дифференциального вращения».

4. Ясюкевич Ю.В. и др. «Сверхзвуковые волны и ионосферная дыра нехимического происхождения, вызванные полетом и взрывом сверхтяжелого космического корабля Starship».

5. Куркин В.И. и др. «Многопозиционная сеть ЛЧМ-ионозондов для непрерывного мониторинга характеристик ионосферных возмущений в Азиатском регионе России».

6. Ткачев И.Д. и др. «Искусственное оптическое свечение ионосферы в линиях 557,7 нм и 391,4 нм, индуцированное радиоизлучением стенда СУРА».

7. Шиховцев А.Ю. и др. «Универсальный метод расчета основных характеристик атмосферной оптической турбулентности и его апробация для астроплощадок Байкальской астрофизической обсерватории и Обсерватории Пик Терскол».

8. Файнштейн В.Г., Егоров Я.И. «Колебания скорости КВМ и связанной ударной волны: сравнительный анализ».

9. Сетов А.Г. и др. «Исследование интенсивности 27-дневной компоненты в солнечном излучении и ионосферном электронном содержании».

10. Пономарчук С.Н. и др. «Комплексный алгоритм моделирования коротковолновых радиотрасс».

11. Жеребцов Г.А. и др. «Моделирование влияния изменения параметров нейтральной атмосферы на электронную концентрацию в ионосфере».

12. Коробцев И.В. и др. «Фотометрические наблюдения и моделирование формы космического мусора на средневисотных орбитах».

13. Сдобнов В.Е. и др. «Явления гистерезиса в отклике геомагнитной активности и параметров космических лучей на вариации межпланетной среды во время магнитной бури».

4.3. Деятельность диссертационного совета

Диссертационный совет 24.1.197.01 создан на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук и утвержден приказом Министерства образования и науки РФ № 91нк от 26 января 2023 г.

Специальности защиты диссертаций по физико-математическим наукам:

1.3.1 — физика космоса, астрономия;

1.3.4 — радиофизика;

1.6.18 — науки об атмосфере и климате.

В течение 2024 г. проведено 12 заседаний совета и защищены 3 кандидатские диссертации и 3 докторские:

23 января 2024 г. состоялась защита диссертации А.В. Кудрявцевой (ИСЗФ) «Исследование нестационарных явлений в спокойной и возмущенной солнечной атмосфере» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 — физика космоса, астрономия.

23 января 2024 г. состоялась защита диссертации А.В. Рубцова (ИСЗФ) «Особенности поляризации и пространственного распределения ультранизкочастотных волн в магнитосфере Земли по данным космических аппаратов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 — физика космоса, астрономия.

27 февраля 2024 г. состоялась защита диссертации П.Е. Терещенко (СПбФ ИЗМИРАН) «Особенности возбуждения и распространения электромагнитного поля в диапазоне частот менее 300 Гц от заземленного или заводненного горизонтального излучателя» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4 — радиофизика.

9 апреля 2024 г. состоялась защита диссертации С.Г. Парникова (ИКФИА) «Динамические явления в субавроральном свечении. Новые наблюдения и анализ» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 — науки об атмосфере и климате.

15 октября 2024 г. состоялась защита диссертации А.В. Боровика (ИСЗФ) «Солнечные вспышки малой мощности в линии Na» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 — физика космоса, астрономия.

24 октября 2024 г. состоялась защита диссертации Д.Ю. Климушкина (ИСЗФ) «Пространственная структура и механизмы генерации азимутально-мелкомасштабных ультранизкочастотных волн в космической плазме» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 — физика космоса, астрономия.

4.4. Международное сотрудничество

В отчетном году состоялось 18 выездов сотрудников ИСЗФ СО РАН в Бельгию, Великобританию, Испанию, Китай, Корею, Кыргызстан и США. Сотрудники института приняли участие в 18 международных научных мероприятиях.

Международные проекты

Проект COFFIES (Consequences Of Fields and Flows in the Interior and Exterior of the Sun — Магнитные поля и течения внутри и на поверхности Солнца и их следствие в солнечном динамо). Ответственный исполнитель от ИСЗФ СО РАН: д.ф.-м.н. В.В. Пипин; координатор: Тодд Хуксема, Стэнфордский университет (Сайпресс С-13, 466 Виа Ортега, Стэнфорд, США). Сроки: 2020–2027 гг.

Проект 2024PVA0093 программы Президента Китайской академии наук «Президентская инициатива поддержки международных визитов (CAS President's International Fellowship Initiative, PIFI) «Эффекты магнитной спиральности в солнечном динамо». Координаторы: д.ф.-м.н. В.В. Пипин, ИСЗФ СО РАН; проф. Ян Шанбинь, Национальные астрономические обсерватории КАН (20А, улица Датун, район Чаоян, Пекин, 100012, Китай). Сроки: 2024 г.

Проект программы Президента Китайской академии наук «Президентская инициатива поддержки международных визитов (CAS President's International Fellowship Initiative, PIFI) «Анализ наблюдений солнечных вспышек в радиодиапазоне». Координаторы: д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов, ИСЗФ СО РАН; проф. Тань Чэньмин, Национальный центр космических исследований КАН (Наньэртяо, 1. Чжунгуаньцунь, р-н Хайдянь, Пекин, Китай). Сроки: март–май 2024 г.

Инициативный научный проект РФФИ – Государственный фонд естественных наук Китая (ГФЕН) № 23-42-00043 «Характеристики атмосферы и методы адаптивной оптики на крупноапертурных солнечных телескопах». Координаторы: д.ф.-м.н. В.П. Лукин, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН; проф. Чанхуэй Жао, Институт оптики и электроники КАН (р-н Шуанью, г. Чэнду, провинция Сычуань, Китай). Сроки: 2023–2026 гг.

Участие в работе международной объединенной исследовательской группы «Исследования процессов взаимодействия в атмосфере» (“Atmospheric Coupling Studies”) Глобальной геодезической системы наблюдений (Global Geodetic Observing System, GGOS). Координаторы: д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, ИСЗФ СО РАН; д-р Андрес Калабия, Университет Алькалы (Испания). Сроки: 2024–2028 гг.

Участие магнитной обсерватории «Иркутск» ИСЗФ СО РАН в работе Международной сети магнитных обсерваторий INTERMAGNET. 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: 1996–2029 гг.

В 2024 г. сотрудники ИСЗФ СО РАН приняли участие в редактировании международных изданий: д.ф.-м.н. П.Г. Ковадло и к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев были приглашенными редакторами специального выпуска журнала Applied Sciences “Advanced Observation for Geophysics, Climatology and Astronomy”, д.ф.-м.н. Л.Л. Кичатинов входил в международную редакторскую группу книги “Solar and Stellar Dynamos: A New Era”.

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 ОНЦ-КП в июне 2024 г. состоялся выезд академика Г.А. Жеребцова в г. Пекин для участия в 21-й Генеральной ассамблее членов КАН, куда он был приглашен как Иностраный член этой академии.

В соответствии с Меморандумом о взаимопонимании между ИСЗФ СО РАН и НЦКИ КАН очередная 15-я Российско-Китайская конференция по космической погоде прошла с 9 сентября по 13 сентября 2024 г. в Иркутске. Конференция была посвящена развитию сотрудничества в рамках международного проекта «Меридиональный круг» (IMCR). В конференции участвовало 76 человек из научных организаций России и Китая.

Научная программа включала 59 устных (в том числе 1 пленарный и 8 приглашенных) и 23 стендовых доклада молодых ученых, исследователей, профессоров и экспертов в области солнечно-земной физики. Во время выездной сессии на Радиоастрофизическую обсерваторию ИСЗФ СО РАН участникам конференции была проведена экскурсия и представлены изображения Солнца, полученные с помощью Сибирского радиогелиографа.

В рамках работы Центра в 2024 г. проводились совместные научно-исследовательские работы:

- по проекту RIFI № 2024PVA0093;
- по проекту RIFI «Анализ наблюдений солнечных вспышек в радиодиапазоне»;
- по инициативному научному проекту РФФИ — ГФЕН № 23-42-00043.

Визиты зарубежных ученых в ИСЗФ СО РАН

Для участия в работе Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике (БШФФ–2024) Институт с 31 августа по 8 сентября посетили 2 сотрудника Национальных астрономических обсерваторий КАН (г. Пекин, Китай), а также научный сотрудник Института природопользования Национальной академии наук Беларуси (г. Минск, Беларусь).

В ходе 15-й Российско-Китайской конференции по космической погоде, проведенной ИСЗФ СО РАН и НЦКИ КАН с 9 по 13 сентября 2024 г., Институт посетил 21 научный сотрудник из НЦКИ КАН, Шаньдунского университета, Национальных астрономических обсерваторий КАН, а также представители Посольства КНР в России и Генконсульства КНР в г. Иркутске.

Участие сотрудников ИСЗФ СО РАН в работе Международных организаций

Сотрудники ИСЗФ СО РАН участвовали в работе следующих международных организаций:

1. Американский геофизический союз (American Geophysical Union, AGU) — 1 чел.
2. Сообщество европейских солнечных радиоастрономов (Community of European Solar Radio Astronomers, CESRA) — 3 чел.
3. Международная общественная организация «Астрономическое общество» (Eurasian Astronomical Society, EAAS) — 7 чел.
4. Европейское астрономическое сообщество (European Astronomical Society, EAS) — 7 чел.
5. Международный астрономический союз (International Astronomical Union, IAU) — 11 чел.
6. Международная инициатива по космической погоде (International Space Weather Initiative, ISWI) — 1 чел.
7. Международная общественная организация «Оптическое общество им. Д.С. Рождественского» (Optical Society named after D.S. Rozhdestvensky) — 1 чел.
8. Международный комитет по солнечно-земной физике (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP) — 1 чел.
9. Комитет по космическим исследованиям (Committee on Space Research, COSPAR) — 5 чел.
10. Международный союз радионаук (Union Radio-Scientifique Internationale, URSI) — 1 чел.
11. Международная программа «Меридиональный круг» (International Meridian Circle Program) — 2 чел.
12. Международная ассоциация геодезии (International Association of Geodesy, IAG) — 1 чел.
13. Азиатско-Тихоокеанское геофизическое общество (Asia Oceania Geosciences Society, AOGS) — 2 чел.

4.5. Издательская деятельность

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

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

В состав редакционной коллегии входят 10 сотрудников Института, 19 представителей других институтов и 4 представителя зарубежных организаций. Каждую из трех научных специальностей журнала (1.3.1 — физика космоса, астрономия; 1.3.4 — радиофизика; 1.6.18 — науки об атмосфере и климате) в составе редколлегии представляют не менее 10 докторов наук.

В 2024 г. состоялось четыре заседания редколлегии, на которых обсуждались содержание каждого номера журнала, различные спорные вопросы, касающиеся поступивших в редакцию рукописей, и планы выпуска следующих номеров.

Журнал включен в международные базы и системы научного цитирования WoS (ESCI) Web of Science Core Collection, Scopus, NASA Astrophysics Data System (ADS), Directory of Open Access Journals (DOAJ), CrossRef и отечественные базы РИНЦ и RSCI. «Белый список» научных журналов РЦНИ дает журналу уровень 2. Там же приведены основные показатели журнала за 2023 г.: квартиль Q3, SJR = 0.29; SNIP = 0.6; CiteScore = 1.5.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ с учетом цитирования из всех источников составляет 1.798. Журнал занял 12 место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2023 г. по тематике «Геофизика» и 4 место — по тематике «Астрономия».

Журнал издается в русско- и англоязычных версиях. В 2024 г. изданы 4 номера тома 10 в обеих версиях, в которых опубликовано 50 научных статей по следующим аспектам солнечно-земной физики:

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

В 2024 г. Институт опубликовал «Отчет о научной и научно-организационной деятельности в 2023 г.».

4.6. Работа библиотеки

Работа библиотеки в 2024 г. велась по всем обязательным направлениям:

– добавлена 468 новая запись в электронный каталог «Публикации сотрудников Института», общее количество отраженных в каталоге публикаций достигло 20476 ед.

– в БД «Электронные книги» прибавилось 68 новых наименований книг по тематике исследований Института.

– по запросам сотрудников скачано 508 статей, оцифрованы две книги по запросам читателей.

– выполнено 14 заказов по МБА из удаленных источников (библиотеки других городов) для сотрудников ИСЗФ СО РАН и других институтов.

– продолжалась плановая работа по переводу в электронный вид статей журнала «Геомагнетизм и астрономия». Было отсканировано 180 статей.

– в раздел «Отечественные журналы» электронного каталога библиотеки своевременно вводилось содержание поступающих выпусков журналов «Геомагнетизм и астрономия»,

«Астрономический журнал», «Письма в Астрономический журнал». Наполняемость электронной библиотеки Института достигла 100 Гб.

В 2024 г. библиотечный фонд, как и в предыдущие годы, пополнялся в основном книгами, полученными в дар от сотрудников. Самостоятельно был куплен очередной выпуск «Астрономического ежегодника на 2025 год». В 2024 г. было проведено две плановые подписки на отечественную периодику, но из-за реорганизаций, которые происходили в издательствах академических журналов, отечественные журналы поступали с очень большими опозданиями. Практически даже журналы за первое полугодие не получены в полном объеме. Информация о новых поступлениях ежеквартально размещалась в Едином электронном каталоге UNIT на базе библиотеки ИИЦ СО РАН.

Доступ к зарубежным изданиям осуществлялся на основе заключенных лицензионных договоров с РЦНИ. В 2024 г. были использованы только ресурсы издательств Springer и Wiley, так как большей частью предоставлялись тестовые доступы к ресурсам издательств, которые не отвечают запросам наших научных работников. Поэтому возросла доля заказов статей из зарубежных журналов по МБА.

Благодаря бесперебойной работе интернет-версии ИРБИС пользователи электронной библиотеки активно работают с электронными каталогами, объединенным каталогом библиотек ИИЦ СО РАН и всегда могут заказывать литературу онлайн.

В читальном зале библиотеки проходят занятия с аспирантами и магистрантами.

В 2024 г. были организованы и проведены 5 тематических выставок:

- «Жизнь для науки» — к Дню науки и в честь 300-летия РАН;
- «Женщина — музыка, женщина — свет» — к 8 Марта;
- «Загадочный мир космоса» — к Дню космонавтики;
- «Вклад советских ученых в победу в Великой войне» — к Дню Победы;
- ежегодная мини-выставка «Книги-юбиляры–24».

Выставка новых поступлений обновляется каждый месяц.

Выполнено 13 больших справок по запросам руководства Института с использованием отечественной БД РИНЦ, электронного и бумажного каталогов библиотеки и интернета.

4.7. Образовательная деятельность

Подготовка научных и научно-педагогических кадров является одной из приоритетных задач Института.

На 2024 г. Министерством науки и высшего образования РФ было выделено 5 бюджетных мест для приема по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и 6 мест для приема в магистратуру. Приемная кампания проводилась с 1 июля по 31 августа 2024 г. Благодаря проведению дня открытых дверей (05.05.2024) и интенсивной просветительской работе со студентами вузов бюджетные места были заполнены. На программы магистратуры образовался конкурс.

С мая по июнь 2024 г. проходила государственная итоговая аттестация обучающихся. Успешно прошли и получили диплом государственного образца об окончании аспирантуры 5 чел.: 2 чел. по профилю «Радиофизика», 3 чел. по профилю «Физика атмосферы и гидросферы». Выпускник аспирантуры Рубцов Александр Валерьевич успешно защитил кандидатскую диссертацию «Особенности поляризации и пространственного распределения ультранизкочастотных волн в магнитосфере Земли по данным космических аппаратов».

По состоянию на 01.10.2024 численность аспирантов по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров составляет 26 чел. (табл. 4.7.1): по профилю «Радиофизика» — 6 чел., «Физика Солнца» — 3 чел., по научным специальностям 1.3.1. «Физика космоса, астрономия» — 9 чел., 1.3.4. «Радиофизика» — 3 чел., 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате» — 5 чел.

Основной особенностью подготовки аспирантов в ИСЗФ СО РАН является индивидуальный подход и большое желание передать знания и опыт поколений своим подопечным. Научными руководителями аспирантов являются ведущие ученые Института, доктора и кандидаты физико-математических наук (табл. 4.7.1)

Таблица 4.7.1

№	ФИО аспиранта	Научный руководитель	Тема научно-исследовательской работы (диссертаций)
1.	Барахоева К.А.	с.н.с., к.ф.-м.н. Челпанов А.А.	Влияние малых солнечных вспышек на собственные колебания в нижней атмосфере Солнца
2.	Будовкина А.А.	н.с., к.ф.-м.н. Едемский И.К.	Численное моделирование свечения атомарного кислорода на ионосферных высотах в рамках ионосферно-плазмосферной модели ИСЗФ
3.	Васильев К.М.	зам. директора по НИР, к.ф.-м.н. Васильев Р.В.	Исследование механизмов влияния грозовой активности Байкальского региона на локальные параметры верхней атмосферы
4.	Дрига М.Б.	в.н.с. д.ф.-м.н. Ковадло П.Г.	Разработка метода оценки оптических искажений световой волны и характеристик атмосферной турбулентности по данным наблюдений космических источников света
5.	Воронова Е.А.	в.н.с. к.ф.-м.н. Ратовский К.Г.	Исследование межгодовых и суточных вариаций параметров спорадического слоя E _s
6.	Громик Н.А.	с.н.с. к.ф.-м.н. Лебедев В.П.	Комплексный анализ геофизических данных, полученных на радиофизических инструментах ИСЗФ СО РАН
7.	Ермаков В.Ю.	с.н.с. к.ф.-м.н. Лебедев В.П.	Исследование поляризационной структуры радиолокационных сигналов Иркутского радара некогерентного рассеяния и всеатмосферного радара НР-МСТ
8.	Ивонин В.А.	с.н.с. к.ф.-м.н. Лебедев В.П.	Исследование тонкой структуры радиолокационного сигнала, отраженного от космических аппаратов, по данным Иркутского радара НР и всеатмосферного радара НР-МСТ
9.	Карнаухов С.С.	в.н.с., к.ф.-м.н. Еселевич М.В.	Планирование и обработка измерений искусственных космических объектов на телескопах Саянской солнечной обсерватории
10.	Каракотов Р.Р.	зав. лаб. д.ф.-м.н. Кузнецов А.А.	Исследование квазипериодических колебаний в солнечных вспышках по многоволновым наблюдениям
11.	Киричков П.Н.	г.н.с. д.ф.-м.н. Демидов М.Л.	Анализ магнитной активности Солнца на основе синоптических наблюдений
12.	Куклина Ф.Р.	с.н.с. к.ф.-м.н. Семинский И.К.	Отражение тектонических нарушений Сибирской платформы в электромагнитном и эманационном полях Земли
13.	Логвинов Д.В.	г.н.с. д.ф.-м.н. Демидов М. Л.	Прогноз параметров солнечного ветра по наблюдениям крупномасштабных магнитных полей Солнца
14.	Марчук Р.А.	в.н.с. д.ф.-м.н. Мишин В.В.	Динамика УНЧ электромагнитных колебаний и токовых систем в ходе магнитосферных бурь и суббурь
15.	Мотык И.Д.	с.н.с. к.ф.-м.н. Кашапова Л. К.	Процессы энерговыделения на фазе спада солнечной вспышки

16.	Пичуев А.Э.	зам. директора по НИР, д.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.	Исследование динамики мелкомасштабных неоднородностей на средних широтах по данным глобальных навигационных спутниковых систем
17.	Серебренникова С.А.	зам. директора по НИР, д.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.	Оценка границ локализации возмущений высокоширотной и низкоширотной ионосферы по данным глобальных навигационных спутниковых систем
18.	Смотрова Е.Е.	с.н.с. к.ф.-м.н. Михайлова О.С.	Исследование взаимодействий ультранизкочастотных волн с заряженными частицами магнитосферы
19.	Софьин А.В.	Рук. науч. направления по радиофизике д.ф.-м.н. Куркин В.И.	Перемещающиеся ионосферные возмущения в среднеширотной ионосфере Азиатского региона России
20.	Трофимов Е.А.	Директор, чл.-корр. РАН Медведев А.В.	Экспериментальное исследование волновой активности в верхней атмосфере
21.	Феденёв В.В.	в.н.с. к.ф.-м.н. Анфиногентов С.А.	Моделирование физических процессов в магнитоплазменных структурах солнечной атмосферы
22.	Федоров М.Э.	в.н.с., д.т.н. Демьянов В.В.	Алгоритм оценки шумов генераторов навигационных приемников для повышения точности измерения фазы двухчастотными навигационными приемниками
23.	Черепанов О.В.	с.н.с. к.ф.-м.н. Белецкий А.Б.	Проявления возмущений гелиогеофизической и антропогенной природы в собственном свечении верхней атмосферы Земли, зарегистрированные с помощью пространственно-разнесенных оптических систем
24.	Шамсутдинова Ю.Н.	с.н.с. к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Процессы энерговыделения в микроволновых источниках событий в метровом радиодиапазоне
25.	Шелков А.Д.	зам. директора по НИР, к.ф.-м.н. Васильев Р.В.	Динамические и температурные вариации нейтральной компоненты верхней атмосферы под действием магнитосопряженной ионосферы
26.	Шубин Д.А.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю.	Статистическое исследование длиннопериодных волн в магнитосфере Земли на основании спутниковых данных

Распоряжением губернатора Иркутской области № 390-р от 6 декабря 2024 г. аспирантке 4-го года обучения по направлению подготовки «Физика и астрономия» Шамсутдиновой Юлии Насимовне была присуждена именная стипендия.

Продолжается подготовка по образовательной программе магистратуры 03.04.02 «Физика». В 2024 г. успешно прошел государственную итоговую аттестацию и получил квалификацию «Магистр» выпускник магистратуры Дрига М.Б.

Общая численность магистрантов 1–2 курса на конец 2024 г. составила 8 чел.

Темы научно-исследовательских работ магистрантов приведены в табл. 4.7.2.

Таблица 4.7.2

№	ФИО магистранта	Научный руководитель	Тема научно-исследовательской работы
1.	Кузьмицкий А.В.	в.н.с., к.ф.-м.н. Кочанов А.А.	Генерация и перенос излучения в атмосфере Солнца
2.	Рожкова Д.В.	с.н.с., к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Исследование микроволнового излучения солнечных вспышек с помощью моделирования гиротронного излучения
3.	Ларионова Д.В.	г.н.с., д.ф.-м.н. Кичатинов Л.Л.	Сравнение параметров правила Вальдмайера по данным о числах и площадях солнечных пятен
4.	Синкевич Т.И.	в.н.с., к.ф.-м.н. Головкин А.А.	Локализация эфемерных активных областей на Солнце
5.	Жмуркина А.Д.	с.н.с., к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Исследование процессов распространения энергии в солнечных вспышках по пространственно-разрешенным наблюдениям в рентгеновском и микроволновом диапазонах
6.	Зотова И.А.	в.н.с., к.ф.-м.н. Ойнац А.В.	Моделирование влияния ионосферных возмущений на характеристики КВ/УКВ-сигналов при радиозондировании ионосферы
7.	Ковалёва В.В.	в.н.с., к.ф.-м.н. Лебедев В.П.	Исследование перемещающихся ионосферных возмущений по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния и ионозондов
8.	Халматова А.С.	в.н.с., к.ф.-м.н. Лебедев В.П.	Использование искусственных нейронных сетей для краткосрочного прогноза факторов космической погоды

По окончании магистратуры все выпускники Института имеют возможность продолжить обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

Таким образом, в 2024 г. продолжается непрерывный процесс подготовки молодых кадров в магистратуре и аспирантуре Института.

4.8. Работа с вузами

Институт сотрудничает с ИГУ (ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»), ИРНИТУ (ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»), БГУ (Байкальский государственный университет), ИрГУПС (Иркутский государственный университет путей сообщения), Иркутским педагогическим университетом, Иркутским филиалом Института гражданской авиации, Университетом ИТМО (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики), Поволжским государственным технологическим университетом, Московским физико-техническим институтом МГУ и др.

Совместные структуры с вузами Иркутска:

- Базовая кафедра радиоэлектроники и телекоммуникационных систем (ИСЗФ СО РАН и ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», соглашение о сотрудничестве от 20 июля 2010 г., договор о сотрудничестве от 22 ноября 2011 г.).

- Совместная научно-исследовательская лаборатория «Плазменная радиофизика» (ИСЗФ СО РАН и ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический

университет», соглашение о сотрудничестве от 20 июля 2010 г., договор о сотрудничестве от 30 ноября 2011 г.).

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

- Базовая кафедра ИСЗФ СО РАН — кафедра метеорологии и физики околоземного космического пространства на географическом факультете ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет» (протокол ученого совета ФГБОУ ВО «ИГУ» № 3 от 15.04.2019).

Активно используется инструментальная база Института. В обсерваториях Института ежегодно проходят практику студенты ИГУ, ИРНИТУ, БГУ, ведется популяризаторская деятельность. В 2024 г. были проведены экскурсии и научные семинары в обсерваториях Института: в Байкальской астрофизической обсерватории — 976 экскурсий (9765 чел.) и 6 научных семинаров с наблюдениями (90 чел.), в Геофизической обсерватории и Радиофизической обсерватории имени проф. Г.Я. Смолькова — 7 экскурсий (116 чел.), в Саянской солнечной обсерватории — 6 научных семинаров с наблюдениями (90 чел.).

Институт совместно с Университетом ИТМО реализует магистерскую программу по направлению «Оптехника», специализация «Астроприборостроение». Магистранты Университета ИТМО проходят практику и подготавливают магистерские диссертации с использованием данных наблюдений на уникальных научных установках Института, расположенных в Саянской солнечной и Байкальской астрофизической обсерваториях ИСЗФ СО РАН. Профильные дисциплины магистрантам Университета ИТМО читают ведущие специалисты Института.

Ученые Института совмещают свою научную деятельность с преподавательской работой в вузах. Преподавательской деятельностью в 2024 г. занималось более 40 сотрудников, 8 сотрудников проводили работу со школьниками.

В 2024 г. в Институте прошли производственную практику 47 студентов вузов, выполнили курсовые — 42, дипломные работы — 17.

4.9. Работа Научно-образовательного центра

Научно-образовательный центр (НОЦ) ИСЗФ СО РАН создан в 2008 г. Основной задачей является организация педагогической работы и популяризация науки, проводимые сотрудниками Института с целью привлечения молодых перспективных научных кадров. Организационная структура НОЦ включает заведующего, секретаря и научных сотрудников Института, привлекаемых к его работе. Научные сотрудники ведут учебные курсы, читают научные и научно-популярные лекции, руководят учебной и производственной практикой студентов, научно-исследовательской работой школьников, проводят экскурсии.

В 2024 г. сотрудники ИСЗФ приняли активное участие в работе разнообразных научно-образовательных мероприятий, проводимых в Иркутске. К Дню российской науки для школьников и жителей города в областной государственной универсальной научной библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского была проведена научно-популярная лекция «Магнитосфера и окрестности» (к.ф.-м.н. Челпанов М.А.).

Продолжилось сотрудничество НОЦ со школами Иркутска. К Дню космонавтики в рамках марафона «Наука открывает тайны» для преподавателей и учащихся Усольского района прочитаны научно-популярные лекции: «Радиофизические методы исследования верхней атмосферы» (к.ф.-м.н. Лебедев В.П.), «Солнце: как и зачем его изучают» (к.ф.-м.н. Челпанов А.А.), «Магнитные бури» (к.ф.-м.н. Рубцов А.В.). Организована серия выездных лекций в обсерваториях ИСЗФ СО РАН. Учащиеся МБОУ СОШ № 19 г. Иркутска посетили Радиоастрофизическую обсерваторию в п. Бадары, где ознакомились с работой Сибирского радиогелиографа (Дедюхин П.Б.). Учащиеся 9–11 классов школ № 2, 3, 5, 10, 12, 15, 17 г. Иркутска и гимназий № 1 и № 9 г. Усолья-Сибирского посетили Иркутский радар некогерентного рассеяния. В программу вошло посещение антенны радара, зала пе-

редатчиков и лекция по научным задачам, решаемым на радаре и в Институте, «Иркутский радар на службе Родины и науки» (к.ф.-м.н. Лебедев В.П.). Группа сотрудников выступила перед учащимися Кыренской ср. школы (Бурятия). Сотрудники Института прочитали лекции «Свечение атмосферы Земли» (к.ф.-м.н. Васильев Р.В.), «Солнце, Земля и окрестности» (к.ф.-м.н. Челпанов М.А.), «Солнце» (асп. Мотык И.Д.). Серию из пяти научно-популярных лекций «Лики Вселенной» для жителей г. Иркутска прочитал к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю. в центре современного искусства «Огонь». В рамках фестиваля «Наука 0+» в библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского проведены научно-популярные лекции: «Как поймать молнию?» (Ткачев И.Д.) и «Проблема прогноза космической погоды» (к.ф.-м.н. Рубцов А.В.).

НОЦ и Совет научной молодежи ИСЗФ СО РАН при поддержке ИГУ и Министерства образования Иркутской области 12 апреля 2024 г. организовали и провели XIII Научно-практическую конференцию школьников «Человек и космос». В финальном устном этапе приняли участие учащиеся 7–11 классов (23 чел.) из Ангарска, Иркутска, Усть-Илимска, Шелехова, Осы, Черемхово, Усолья-Сибирского а также из Нукутского и Тулунского районов. В подготовке и проведении конференции принимали участие 18 сотрудников Института. В рамках конференции к.ф.-м.н. Васильев Р.В. прочитал научно-популярную лекцию «Оптические инструменты обсерватории Торы». Участники, занявшие призовые места, были награждены призами (планшет, беспроводные наушники, рюкзаки, настольные игры, сувениры с логотипом конференции).

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 2024 г. ведущие ученые Института прочитали курсы лекций по физике Солнца, плазмы, ионосферы и магнитосферы. Проведены следующие мероприятия:

- Спец. курс «Физика ближнего космоса» (зав. лаб. к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю.);
- Курс лекций и практических занятий «Обработка сигналов и изображений» (в.н.с. к.ф.-м.н. Кочанов А.А.).
- Ознакомительная практика студентов 1 курса ИГУ в Байкальской астрофизической обсерватории. Руководитель практики — к.ф.-м.н. Боровик А.В.
- Ознакомительная практика студентов 2 курса «Физика», «Радиофизика и электроника» (к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю., к.ф.-м.н. Лебедев В.П., к.ф.-м.н. Белецкий А.Б., к.ф.-м.н. Рубцов А.В., д.ф.-м. н. Демидов М.Л., Иванов Е.Ф.)
- Выездная практика студентов 3 курса, «Радиофизика и электроника» на полигонах ИСЗФ. Студенты посетили Сибирский радиогелиограф (п. Бадары), комплекс оптических инструментов (п. Торы), Иркутский радар некогерентного рассеяния (п. Орда), ознакомились с принципами работы и научно-исследовательскими возможностями этих инструментов, получили возможность обработки и анализа получаемых данных. В Радиоастрофизической обсерватории руководитель практики — к.т.н. Губин А.В., ответственный исполнитель — к.ф.-м.н. Кочанов А.А. В Геофизической обсерватории руководитель практики — к.ф.-м.н. Васильев Р.В, ответственные исполнители — к.ф.-м.н. Сыренова Т.В., Ткачев И.Д., к.ф.-м.н. Ойнац А.В., к.ф.-м.н. Белецкий А.Б., к.ф.-м.н. Едемский И.К., д.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В., к.ф.-м.н. Алсаткин С.С., Подлесный С.В., Шелков А.Д., Добрынин В.А. В обсерватории радиофизической диагностики атмосферы руководитель практики — к.ф.-м.н. Лебедев В.П., ответственные исполнители — Ивонин В.А., Громик Н.А.

Организованы выездные лекции для студентов ИГУ и ИрНИТУ в обсерваторию радиофизической диагностики атмосферы «Взгляд на проблему космического мусора через Иркутский радар некогерентного рассеяния» (к.ф.-м.н. Лебедев В.П.).

4.10. Научно-историческая работа

Целью создания научно-исторической группы является сохранение исторических архивов, научно-просветительская и учебно-образовательная деятельность.

На сегодняшний день экспозиция выставочного зала включает более 375 единиц хранения.

В зале в настоящее время проводится перераспределение, разбор материалов и экспонатов после ремонтных работ. Составляются заявки на изготовление новых стоек для выставочных щитов.

В рамках подписанного договора с ИрНИТУ, в состав которого входит Институт архитектуры, строительства и дизайна (АСиД, директор В.В. Пешков), наша группа продолжает сопровождение работ по изготовлению презентационных макетов обсерваторий ИСЗФ СО РАН силами студентов в рамках курсового проектирования.

Продолжен поиск новых экспонатов, создание и реставрация альбомов.

В Государственном музее космонавтики им. К.Э. Циолковского в Калуге открылась и проходит в настоящее время выставка «Солнце и жизнь Земли», на которой освещен широкий спектр тем по физике Солнца, истории его наблюдения, солнечно-земным связям. Наш Институт принял в ней участие. По просьбе научного сотрудника астрономической обсерватории ГМИК им. К.Э. Циолковского Алексея Александра Юрьевича, мы подготовили фото- и видеоматериалы, исторические справки.

В соответствии с графиком посещений обсерваторий на 2024 г. мы побывали в Саянской солнечной обсерватории. Результатом посещения стала коллекция собственных фото и, согласно плану «Навстречу 300-летию Российской академии наук» на 2024 год, 13 ноября открыта выставка под общим названием «Научный уровень ИСЗФ СО РАН — первые позиции в мире!», включая стенды «Как построить телескоп? (двадцатилетнюю вводу в строй ИК телескопа посвящается)».

В течение года в ИСЗФ СО РАН прошли следующие выставки:

- «Наш Институт — наша гордость» — к юбилею В.М. Григорьева, выдающегося ученого в области физики Солнца.

- «Золотые юбилеры» — в честь сотрудников с 50-летним стажем работы.

- «Планета «Степанов» (Stepanov)» — крымские астрофизики назвали малую планету именем Владимира Евгеньевича Степанова. Выставка посвящается 110-летию со дня его рождения.

- «Да здравствует весна!» — мероприятие с выставкой и концертом, организованное при поддержке Профсоюзного комитета, прошло в марте в выставочном зале ИСЗФ СО РАН.

- «Человек и космос» — эта выставка собрала весь архив конференций для школьников, которые ежегодно с 2010 г. проводит ИСЗФ СО РАН.

- «Научные династии» — выставка представила три поколения ученых, составивших династию, основателем которой стал Владимир Евгеньевич Степанов.

Все выставки были представлены на стендах и пополнили коллекцию альбомов.

В настоящее время проводится реставрация старых стендов и планшетов, разбор экспонатов после ремонта. Появилась возможность выполнить план экскурсий «Навстречу 300-летию Российской академии наук»: «Удивительные моменты из жизни Института»; «Достижения ученых ИСЗФ СО РАН или как труден путь в науку»; «Проект государственной важности»; «Между рассветом и закатом». Институт посетили школьники, студенты, аспиранты, сотрудники и гости ИСЗФ СО РАН. Свои впечатления и пожелания посетители оставили в журнале отзывов.

4.11. Работа Совета научной молодежи Института

Новый состав Совета научной молодежи (СНМ) был избран на Общем собрании научной молодежи Института 20.12.2023 г. В состав Совета входит 9 человек, в том числе председатель к.ф.-м.н. А.В. Рубцов.

В 2024 г. состоялось 11 заседаний, где обсуждались организация и проведение мероприятий, молодежных семинаров, рассматривались кандидатуры для участия в конкурсах и грантах, проводились конкурсы на поддержку научных командировок молодых ученых ИСЗФ СО РАН.

При непосредственном участии СНМ в Институте был впервые проведен День открытых дверей для школьников и студентов (рис. 4.11.1). Перед гостями выступили выпускники магистратуры ИСЗФ СО РАН, аспиранты Шелков Алексей и Мотык Илья, молодые кандидаты наук Кудрявцева Анастасия и Рубцов Александр, аспирант Громик Никита и младший научный сотрудник Сетов Артем, а также более опытные коллеги: Анфиногентов С.А., Михайлова О.С., Ясюкевич Ю.В. и зав. отделом аспирантуры и магистратуры Белоусова Е.П. Всего в мероприятии приняли участие более 40 студентов ИГУ и ИРНТУ, а также школьники ЧОУ «Точка будущего».

В рамках Дней науки проведена интеллектуальная викторина с участием молодых ученых из разных научных институтов Академгородка.

Для молодых сотрудников Института были проведены семинары с практическими советами по представлению результатов своих исследований на английском языке и обзором возможностей применения современных графических процессоров для потоковых вычислений.

В 2024 г. было проведено 15 англоязычных молодежных семинаров, на которых молодые сотрудники Института учились представлять научные и научно-популярные доклады на английском языке перед аудиторией и практиковали навыки разговорного английского языка. К участию в семинарах был привлечен специалист группы переводчиков Института.

В конкурсе на премии имени выдающихся ученых СО РАН участвовали Шиховцев Артем и Рубцов Александр. Оба кандидата выступили с докладами на открытой научной сессии Объединенного ученого совета по физическим наукам СО РАН.

Для участия в конкурсе на именную стипендию губернатора Иркутской области аспирантам (адъюнктам) государственных образовательных организаций высшего образования и научных организаций в Иркутской области рекомендованы аспиранты Марчук Роман, Шамсутдинова Юлия, Феденев Виктор. Распоряжением губернатора Иркутской области № 390-р от 6 декабря 2024 г. аспирантке 4-го года обучения по научной специальности 03.06.01 «Физика и астрономия» Шамсутдиновой Юлии Насимовне была присуждена именная стипендия.

На соискание медали РАН с премией для молодых ученых по направлению «Океанология, физика атмосферы, география» выдвинут Ткачев Иван, по направлению «Общая физика и астрономия» — Анненков Владимир, Рубцов Александр и Смотрова Екатерина.

Сотрудники ИСЗФ СО РАН Цедрик Марк, Подлесный Алексей, Яковлева Ирина приняли участие в турпоходе молодежи Иркутского филиала СО РАН с 12 по 15 июня 2024 г. для установки капсулы времени в цирке Пика СО АН (Тункинская долина, Бурятия) в связи с празднованием 75-летия академической науки Восточной Сибири. Молодые ученые продемонстрировали хорошую физическую подготовку и успешно преодолели маршрут категории 1КС.

Были проведены две научно-популярных лекции в Государственной универсальной научной библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского.

На постоянной основе СНМ проводит рассылку информации по электронной почте о новых конкурсах на получение грантов, стипендий и премий для молодых ученых. Регу-

лярно рассылается информация о проводимых научных российских и международных конференциях и других мероприятиях.

В телеграм-канале https://t.me/snm_iszf организовано информирование молодых учёных, аспирантов, магистрантов о предстоящих мероприятиях, конкурсах, новостях, а также размещение шаблонов документов и другая полезная информация.

Продолжался ежегодный конкурс поддержки научных командировок молодых сотрудников ИСЗФ СО РАН. Целью конкурса является помощь молодежи в представлении своих работ на конференциях, взаимодействие молодых ученых с иногородними коллегами, налаживание научных связей, обучение молодежи поиску альтернативных (внебюджетных) источников финансирования своих исследований. В рамках конкурса в 2024 г. СММ поддержал 8 командировок молодых сотрудников Института, в том числе 2 зарубежных.

СММ участвовал в организации ежегодного поощрения лучших аспирантов по итогам годовой аттестации. СММ ежегодно проводит конкурс премий аспирантов, основная задача которого состоит в повышении качества работы аспирантов.

СММ участвует в организации досуга молодых ученых Института. Проведены вечера настольных игр и вечера танцев. Для налаживания горизонтальных связей между молодыми учеными были организованы празднование Дня летнего солнцестояния и молодежный Новый год, в рамках которых проведены тимбилдинговые игры.



Рис. 4.11.1. Участники Дня открытых дверей ИСЗФ СО РАН, 5 мая 2024 г.

4.12. Проведение научных мероприятий

12 апреля 2024 г. в Институте прошла XIII научная конференция школьников «Человек и космос», приуроченная ко Дню космонавтики и посвященная 300-летию Российской академии наук. Организатором выступил ИСЗФ СО РАН при участии Иркутского государственного университета (ИГУ) при информационной поддержке Министерства образования Иркутской области. Эта конференция проводится ежегодно 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. Очному этапу предшествовал подготовительный период, во время которого учащиеся готовили проекты-исследования под руководством сотрудников ИСЗФ СО РАН. В финальном уст-

ном этапе приняли участие учащиеся 7–11 классов (23 чел.) из Ангарска, Иркутска, Усть-Илимска, Шелехова, Осы, Черемхово, Усоля-Сибирского а также из Нукутского и Тулунского районов. В подготовке и проведении конференции принимали участие 12 сотрудников Института. В рамках конференции сотрудником Института к.ф.-м.н. Р.В. Васильевым была прочитана научно-популярная лекция «Как увидеть магнитную бурю». Участники, занявшие призовые места, были награждены призами (планшет, наушники, рюкзаки, настольные игры).

С 1 по 7 сентября 2024 г. ИСЗФ СО РАН совместно с Иркутским государственным университетом, физическим факультетом Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ), Российским новым университетом (РосНОУ) провели ставшую традиционной Международную Байкальскую молодежную научную школу по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде» и в ее рамках — XVIII Конференцию молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», посвященные фундаментальным проблемам физики Солнца, атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли, космических лучей, астрофизики, солнечно-земных связей, радиофизики, новым методам измерений и моделирования, развитию экспериментальных исследований. Мероприятие посвящено 300-летию Российской академии наук.

БШФФ-2024 включала вопросы экспериментальных и теоретических исследований физики Солнца, околоземного космического пространства (ОКП), атмосферы и ионосферы Земли, а также солнечно-земных связей, космических лучей, строения материи, физики элементарных частиц и межпланетной среды. Ключевыми являлись вопросы космической погоды: воздействие Солнца на межпланетную среду и осваиваемый человеком ближний космос, включая влияние космической погоды на работу инженерных систем, систем связи, навигации, радиолокации.

В соответствии с обозначенной тематикой для чтения лекций на БШФФ-2024 были приглашены к.ф.-м.н. Абунин Артем Анатольевич (Москва, ИЗМИРАН), акад. РАН Бисикало Дмитрий Валерьевич, (Москва, ИЦФМ, ИА РАН), д.ф.-м.н. Благовещенская Наталья Федоровна (Санкт-Петербург, ААНИИ), акад. НАНБ, иностранный член РАН Логинов Владимир Федорович (Беларусь, г. Минск, Институт природопользования НАН Беларуси), к.ф.-м.н. Мягкова Ирина Николаевна (Москва, МГУ, НИИЯФ МГУ), к.ф.-м.н. Сурдин Владимир Георгиевич (Москва, ГАИШ МГУ), д.ф.-м.н. Шайхисламов Ильдар Фаритович (Новосибирск, ИЛФ СО РАН), Yongqiang Yao, Prof. (National Astronomical Observatory of China, Chinese Academy of Sciences).

Во время круглого стола обсуждались итоги научно-исследовательских интенсивов, проводимых в рамках БШФФ-2024 с 26 августа по 1 сентября на уникальном оборудовании в обсерваториях ИСЗФ СО РАН:

1. Сибирский радиогелиограф в Радиоастрономической обсерватории им. проф. Г.Я. Смолькова. Куратор интенсива — д.ф.-м.н. Лесовой Сергей Владимирович.
2. Комплекс оптических инструментов в Геофизической обсерватории. Куратор интенсива — к.ф.-м.н. Васильев Роман Валерьевич.
3. Радар некогерентного рассеяния в Обсерватории радиофизической диагностики атмосферы. Куратор интенсива — к.ф.-м.н. Лебедев Валентин Павлович.

В работе БШФФ-2024 приняли участие специалисты из 12 городов и 34 организаций Российской Федерации. В общей сложности было заслушано 8 пленарных докладов (в рамках БШФФ-2024), 47 стендовых и 57 устных докладов, а также проведен круглый стол. Во время выездного заседания на Сибирский радиогелиограф (урочище Бадары) молодым ученым рассказали об устройстве и структуре радиогелиографа, а также об основных процессах и явлениях, которые можно наблюдать на Солнце с помощью инструмента. Лекцию прочитал заместитель директора по научно-исследовательской работе ИСЗФ СО РАН к.ф.-м.н. Сергей Владимирович Лесовой.

На конференции молодыми учеными, аспирантами и студентами были представлены доклады по следующим направлениям:

- А. Астрофизика и физика Солнца;
- В. Физика атмосферы Земли, включая околоземное космическое пространство;
- С. Диагностика естественных неоднородных сред и математическое моделирование.

Для определения победителей XVIII Конференции молодых ученых было утверждено экспертное жюри в составе 14 человек под руководством к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкина. По итогам конференции жюри присудило за устные доклады одно первое место, два вторых, три третьих, а также три призовых места за стендовые доклады.

Победители среди устных докладчиков:

Дуканов Илья Алексеевич (Москва, МГУ, ИКИ РАН) за доклад «Исследование эволюции энергетического спектра флуктуаций солнечного ветра в рамках оболочечной МГД-модели» (И.А. Дуканов, Е.В. Юшков, Д.Д. Соколов) — 1 место;

Михайлова Ольга Сергеевна (Иркутск, ИСЗФ СО РАН) за доклад «Экспериментальное доказательство существования экваториального резонатора для волн диапазона Pc1 в магнитосфере» (О.С. Михайлова, П.Н. Магер) и Смотровая Екатерина Евгеньевна, (Иркутск, ИСЗФ СО РАН) за доклад «Генерация геомагнитных пульсаций РС4-5 потоками энергичных частиц в дневной магнитосфере» (Е.Е. Смотровая, О.С. Михайлова, П.Н. Магер, Д.Ю. Климушкин) — 2 место;

Стрекалова Полина Владимировна (Санкт-Петербург, ГАО РАН; п. Научный, КраО РАН) за доклад «Исследование структуры и параметров факельных образований на Солнце» (П.В. Стрекалова, В.В. Смирнова, Ю.А. Наговицын), Шишко Виктор Андреевич (Томск, ИОА РАН) за доклад «Оптические модели ледяных кристаллов перистой облачности для задач активного дистанционного зондирования атмосферы» (В.А. Шишко Д.Н. Тимофеев, Н.В. Кустова, Т.В. Русскова, А.В. Коношонкин) и Тыщук Олеся Владимировна (Якутск, ИКФИА СО РАН) за доклад «Регистрация двух событий мезосферного бора в свечении ночного неба над Якутией» (О.В. Тыщук, И.И. Колтовской, С.В. Николашкин) — 3 место.

Победители в секции стендовых докладов:

Вершинин Иван Максимович (Нижний Новгород, ИПФ РАН) за доклад «Лабораторное моделирование импульсного электромагнитного излучения молниевых разрядов» (И.М. Вершинин, И.Ю. Зудин, М.Е. Гущин, П.А. Микрюков, Ю.В. Шлюгаев, А.А. Истомин) — 1 место;

Кузьмицкий Алексей Владимирович (Иркутск, ИСЗФ СО РАН) за доклад «Кривая поглощения и угловое распределение атмосферных мюонов высоких энергий в водной среде: новый расчет» (А.В. Кузьмицкий, А.А. Кочанов) — 2 место;

Кислицына Марина Александровна (Йошкар-Ола, ПГТУ) за доклад «Сенсорная диагностика предельной полосы частот трансионосферного канала в условиях воздействия дестабилизирующих факторов ионосферы» (М.А. Кислицына, А. А. Кислицын) — 3 место.

Участники, занявшие призовые места, были награждены призами (ноутбук, планшет, наушники, внешние диски).

Жюри отметило высокий уровень победивших докладов, а также многих других, не получивших призовые места, но полностью отвечающих по содержанию и представлению уровню российских и международных конференций.

С 9 по 13 сентября 2024 г. ИСЗФ СО РАН и Национальный центр космических исследований Китайской академии наук (КАН) провели в г. Иркутске очередную 15-ю Российско-Китайскую конференцию по космической погоде. Конференция была посвящена развитию сотрудничества в рамках международного проекта «Меридиональный круг» (МСР) и проходила в рамках следующих секций:

- (1) Геоэффективные процессы на Солнце и в межпланетной среде;
- (2) Влияние солнечных процессов на магнитосферные явления;
- (3) Физические процессы в средней и верхней атмосфере;
- (4) Современные методы и инструменты гелиогеофизических исследований в рамках МСР.

В работе конференции приняли участие 76 человек из научных организаций России и Китая: представители ИСЗФ СО РАН, Научно-исследовательского института ядерной

физики имени Д.В. Скобельцына МГУ, Института космических исследований РАН, Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Главной астрономической обсерватории РАН, Института космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Самарского государственного университета, а также Национального центра космических исследований КАН, Национальных астрономических обсерваторий КАН и Шаньдунского университета. Научная программа включала 59 устных докладов (в том числе 1 пленарный и 8 приглашенных) и 23 стендовых. Во время выездной сессии в Радиоастрофизическую обсерваторию ИСЗФ СО РАН участникам конференции была проведена экскурсия и показаны изображения Солнца, полученные с помощью Сибирского радиогелиографа.

В ходе конференции представители российской и китайской сторон договорились инициировать совместные научные исследования в рамках программы российско-китайских грантов РНФ и ГФЕН, а также проводить научное сотрудничество на уровне отдельных институтов и университетов. Был подписан Меморандум о взаимопонимании между Шаньдунским университетом и ИСЗФ СО РАН. В меморандуме представлены основные области сотрудничества между учреждениями (в том числе совместная работа в рамках Российско-Китайского центра по космической погоде и по проекту ИМСР), цели и намерения сторон, а также обговорены основные пункты реализации меморандума.

4.13. Участие в выставках

На постоянно действующей выставке разработок Сибирского отделения в Новосибирске демонстрируются планшеты ИСЗФ СО РАН:

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

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

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

4.14. Участие в научных мероприятиях

4.14.1. Российские

1. Совещание «Модели космической погоды», 15 января 2024 г. НИИЯФ МГУ, г. Москва.
2. Конференция «Малые космические аппараты: научный, технический, прикладной и образовательный аспекты», 25 января 2024 г., г. Санкт-Петербург.
3. Научно-практическая конференция «Результаты обоснования проектного облика системы информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности в околоземном космическом пространстве «Млечный путь», 30–31 января 2024 г., г. Москва.
4. 19-я ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, г. Москва.
5. Рабочее совещание «Обсуждение технического облика и научных задач нагревного стенда», 6 февраля 2024 г., г. Москва.

6. Всероссийская конференция «Звёзды с активностью солнечного типа — исследования последних лет», 26–27 февраля 2024 г., КраО РАН, п.г.т. Научный.
7. Научно-техническая конференция «Современные проблемы развития систем РКО», 18–19 апреля 2024 г., ПАО «МАК «Вымпел», г. Москва.
8. XV школа-конференция с международным участием «Проблемы геокосмоса – 2024», 22–27 апреля 2024 г., СПбГУ, г. Санкт-Петербург.
9. XVI Всероссийская с международным участием научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные проблемы радиоэлектроники и связи», 16–17 мая 2024 г., г. Иркутск.
10. Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» (Прогноз-2024), 27–31 мая 2024 г., ИЗМИРАН, г. Москва, г.Троицк.
11. V Всероссийская научная конференция «Геодинамические процессы и природные катастрофы», 27–31 мая 2024 г., г. Южно-Сахалинск.
12. Всероссийские открытые Армандовские чтения, 25–27 июня 2024 г., г. Муром.
13. Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2024», 1–5 июля 2024 г., КраО РАН, п.г.т. Научный.
14. Всероссийская астрономическая конференция 2024 года «Современная астрономия: от ранней вселенной до экзопланет и черных дыр», 25–31 августа 2024 г., САО РАН, п. Нижний Архыз.
15. Всероссийская конференция (с международным участием), посвященная 300-летию Российской академии наук и 75-летию Якутского научного центра СО РАН «Динамические процессы в средней и верхней атмосфере», 28–31 августа 2024 г., ИКФИА СО РАН, г. Якутск.
16. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция «Солнечная и солнечно-земная физика – 2024», 7–11 октября 2024 г., ГАО РАН, г. Санкт-Петербург.
17. Семинар ИПГ «Предложения по разработке служебной модели верхней атмосферы на высотах от 100 до 1500 км», 25 октября 2024 г., г. Москва.
18. Восьмой Всероссийский объединенный метеорологический и гидрологический съезд, 29–31 октября 2024 г., г. Санкт-Петербург.
19. XXII Всероссийская молодежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы, 12–16 ноября 2024 г., г. Самара.
20. V Всероссийская конференции с международным участием «Турбулентность, динамика атмосферы и климата» памяти А. М. Обухова, 19–21 ноября 2024 г., ИФА им. А.М. Обухова РАН, г. Москва.
21. IX Всероссийская микроволновая конференция, 24–29 ноября 2024 г., Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва.

4.14.2. Международные

1. SUNCAST Workshop, 26 февраля — 1 марта 2024 г., онлайн
2. The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”, 11–15 марта 2024 г., Россия, г. Апатиты.
3. XXVIII Международный симпозиум «Нанопизика и наноэлектроника», 11–15 марта 2024 г., г. Нижний Новгород.
4. China-Eastern European Experts Exchange Activity Conference, 17–20 мая 2024 г., China, Harbin.
5. 4th URSI Atlantic Radio Science Meeting (AT-RASC 2024), 19–24 мая 2024 г., Spain, Gran Canaria.
6. The 21st General Assembly of the Members of the Chinese Academy of Sciences, 23–25 июня 2024 г., Beijing, China.
7. The 21st Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS2024), 23–28 июня 2024 г., South Korea, Pyeongchang.

8. IX Международный симпозиум «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов», 23–30 июня 2024 г., Кыргызстан, г. Бишкек.
9. XXX Юбилейный международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы», 1–5 июля 2024 г., Россия, г. Санкт-Петербург.
10. The 45th COSPAR Scientific Assembly, 13–21 июля 2024 г., South Korea, Busan.
11. XXXII IAU General Assembly, 6–15 августа 2024 г., South Africa, Cape Town.
12. Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», 1–7 сентября 2024 г., Россия, г. Иркутск.
13. The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather, 9–13 сентября 2024 г., Россия, г. Иркутск.
14. Третья международная конференция по космическому образованию «Дорога в космос», 1–4 октября 2024 г., ИКИ РАН, Россия, г. Москва.
15. Международная научно-практическая конференция «Открывая космос – 2024», 5 октября 2024 г., Россия, г. Москва.
16. Seminar on the Development of Actual Measurement of Solar Physics: Observation and Operation Experience Exchange Meeting for the 40th Anniversary of HSOS, 22–26 октября 2024 г., China, Beijing.
17. The 6th Asia Pacific Solar Physics Meeting, 11–15 ноября 2024 г., China, Guangzhou.
18. 22-я Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 11–15 ноября 2024 г., ИКИ РАН, Россия, г. Москва.

5. ПУБЛИКАЦИИ

5.1. Российские издания

1. Алтынцев А.Т., Глоба М.В., Мешалкина Н.С., Сыч Р.А. Наблюдения корональных дыр на Сибирском радиогелиографе // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 3. С. 5–12. DOI: 10.12737/szf-103202401.
2. Антохина О.Ю., Гочаков А.В., Зоркальцева О.С., Антохин П.Н., Крупчатников В.Н. Опрокидывание волн Россби в стратосфере. Ч. I. Климатология и долговременная изменчивость // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т. 37, № 5. С. 415–422. DOI: 10.15372/AOO20240509.
3. Антохина О.Ю., Бобровников С.М., Жарков В.И., Зоркальцева О.С., Трифонов В.Д. Особенности вертикального распределения температуры над г. Томском во время внезапного стратосферного потепления зимой 2023 г. по данным Сибирской лидарной станции // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т.37, № 11. С. 947–953. DOI: 10.15372/AOO20241107.
4. Белюченко К.В., Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г. Моделирование УТ-эффекта зонально-усредненных возмущений параметров верхней атмосферы на примере геомагнитной бури в марте 2015 // Изв. РАН. Сер. физическая. 2024. Т. 88, № 3. С. 356–362. DOI: 10.31857/S0367676524030032.
5. Болсуновский М.А., Шестаков Н.В., Долгих Г.И., Первалова Н.П., Тен А.С. Ионосферные возмущения над Приморским краем, вызванные извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г. // Геодинамика и тектонофизика. 2024. Т. 15, № 1. С. 0738. DOI:10.5800/GT-2024-15-1-0738.
6. Вяткин А.Н., Зоркальцева О.С., Мордвинов В.И. Влияние Эль-Ниньо на параметры средней и верхней атмосферы над Восточной Сибирью по данным реанализа и мо-

делирования в зимний период // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 1. С. 44–52. DOI: 10.12737/szf-101202406; Принята к печати: 22.01.2024.

7. Гринин В.П., Потравнов И.С., Еселевич М.В., Ефимова Н.В., Барсунова О., Шугаров С.Ю. Взаимодействие аккреции и околозвёздной экстинкции как причина необычной переменности WTTS звезды V715 Per // Письма в АЖ. 2024. Т. 50, № 10. С. 642–652. DOI: 10.31857/S0320010824100037.

8. Гульельми А., Фейгин Ф.З., Потапов А.С. О пондеромоторном перераспределении тяжелых ионов вдоль линии магнитного поля // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 17–21. DOI: 10.12737/szf-104202402.

9. Данилова О.А., Птицына Н.Г., Сдобнов В.Е. Явления гистерезиса в отклике геомагнитной активности и параметров космических лучей на вариации межпланетной среды во время магнитной бури // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 3. С. 70–78. DOI: 10.12737/szf-103202408.

10. Жеребцов Г.А., Ратовский К.Г., Медведева И.В. Долговременные вариации максимума электронной концентрации и температуры области мезопаузы: зависимости от солнечной, геомагнитной и атмосферной активности, долговременные тренды // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 5–16. DOI: 10.12737/szf-104202401.

11. Жеребцов Г.А., Тащилин А.В., Первалова Н.П., Ратовский К.Г., Медведева И.В. Моделирование влияния изменения параметров нейтральной атмосферы на электронную концентрацию в ионосфере // ДАН. Науки о Земле. 2024. Т. 517, № 2. С. 319–325. DOI: 10.31857/S2686739724080145.

12. Загайнова Ю.С., Громов С.В., Громова Л.И., Файнштейн В.Г. Изучение внезапного начала магнитной бури по наблюдениям с секундным временным разрешением // Геомагнетизм и аэрономия. 2024. Т. 64, № 3. С. 348–362. DOI: 10.31857/S0016794024030034.

13. Иванов К.И., Комарова Е.С., Язев С.А. Исследование основных характеристик метеорного потока Геминиды по данным базисных видеонаблюдений 2021 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 122–131. DOI: 10.12737/szf-104202413.

14. Кобанов Н.И., Челпанов А.А. Наблюдательные характеристики колебательно-волновых процессов в пятне и его окрестностях. Сложности наблюдений и интерпретации // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 1. С. 4–11. DOI: 10.12737/szf-101202401.

15. Ковалев И.И., Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е., Стародубцев С. Мониторинг околоземного космического пространства, магнитосферы и атмосферы Земли в периоды форбуш-эффектов в конце августа 2005 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 29–37. DOI: 10.12737/szf-102202403.

16. Ковалев И.И., Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Спектры и анизотропия космических лучей в период GLE64 // Геомагнетизм и аэрономия. 2024. Т. 64, № 1. С. 55–59. DOI: 10.31857/S0016794024010066.

17. Ковалев И.И., Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Спектры вариаций и анизотропия космических лучей в периоды форбуш-эффектов в марте 2023 года // Косм. исслед. 2024. Т. 62, № 6. С. 606–612. DOI: 10.31857/S0023420624060059.

18. Коробцев И.В., Мишина М.Н., Караваев Ю.С., Еселевич М.В., Горяшин В.Е. Фотометрические наблюдения и моделирование формы космического мусора на средневысотных орбитах // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 1. С. 74–82. DOI: 10.12737/szf-101202410.

19. Куркин В.И., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Софьин А.В. Сезонно-суточные особенности характеристик среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений в Азиатском регионе России в годы умеренной солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия. 2024. Т. 64, № 3. С. 400–407. DOI: 10.31857/S0016794024030065.

20. Ларюнин О.А., Куркин В.И., Рыбкина А.А., Подлесный А.В. Определение скорости движения ионосферных возмущений по динамике дополнительных U-образных

треков на ионограммах // Геомагнетизм и аэрономия. 2024. Т. 64, № 2. С. 265–271. DOI: 10.31857/S0016794024020091.

21. Лукин В.П., Шиховцев А.Ю., Коняев П.А., Шанг Л., Больбасова Л.А., Борзилов А.Г., Киселев А.В., Колобов Д.Ю., Ковадло П.Г., Ран Х., Рао С. Переход от многоконтурной оптической системы для солнечного телескопа к мультисопряженной // Научные труды ИНАСАН. 2024. Т. 9, № 3. С. 81–88. DOI: 10.51194/INASAN.2024.9.3.001.

22. Лукьянцев Д.С., Афанасьев Н.Т., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Численно-аналитическое моделирование гравитационного линзирования электромагнитных волн в случайно-неоднородной космической плазме // Компьютерные исследования и моделирование. 2024. Т. 16, № 2. С. 433–443. DOI: 10.20537/2076-7633-2024-16-2-433-443.

23. Медведева И.В., Татарников А.В., Едемский И.К., Саункин А.В. Сезонные вариации атмосферных примесей в Байкальском регионе по данным спутниковых наблюдений Aura MLS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 2. С. 315–324. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-2-315-324.

24. Мешалкина Н.С., Алтынцев А.Т. Проявления нагрева вначале вспышки 29 июня 2012 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 3. С. 13–20. DOI: 10.12737/szf-103202402.

25. Михалев А.В. Полярные сияния в периоды экстремальных геомагнитных бурь: особенности среднеширотного сияния 11 февраля 1958 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 60–66. DOI: 10.12737/szf-102202406.

26. Мордвинов В.И., Девятова Е.В., Томозов В.М. Зависимость нормальных мод баротропного уравнения вихря от структуры среднего течения и параметров численного моделирования // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 22–30. DOI: 10.12737/szf-104202403.

27. Падохин А.М., Андреева Е.С., Назаренко М.О., Карлышева А.В., Павлов И.А., Курбатов Г.А. Особенности описания ионосферных неоднородностей высоких широт с помощью ROTI индекса по данным навигационных систем GPS и TRANSIT/ПАРУС // Журнал радиоэлектроники. 2024. № 8. С. 12. DOI: 10.30898/1684-1719.2024.8.7.

28. Петухова О.С., Приставка А.А., Приставка Е.А., Гавриков Д.Е., Саловарова В.П. Сравнительный анализ структурно-функциональных особенностей эндогликаназ с разным температурным оптимумом действия // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14, № 4 (51). С. 596–604. DOI: 10.21285/achb.946.

29. Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Ильин Н.В., Пензин М.С. Моделирование КВ-радиотрасс на основе волноводного подхода // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 99–108. DOI: 10.12737/szf-102202409.

30. Пономарчук С.Н., Грозов В.П. Автоматическая интерпретация ионограмм наклонного зондирования на основе гибридных алгоритмов // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 2. С. 109–118. DOI: 10.12737/szf-102202410.

31. Пономарчук С.Н., Золотухина Н.А. Возмущения ионосферного радиоканала во время магнитных бурь в ноябре–декабре 2023 г. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 4. С. 91–105. DOI: 10.12737/szf-104202410.

32. Пономарчук С.Н., Ильин Н.В., Куркин В.И., Пензин М.С. Применение волноводного подхода для исследования коротковолновых радиотрасс // Радиотехника и электроника. 2024. Т. 69, № 6. С. 513–523. DOI: 10.31857/S0033849424060028.

33. Ратовский К.Г., Клименко М.В., Веснин А.М., Белюченко К.В., Ясюкевич Ю.В. Сравнительный анализ геомагнитных событий, идентифицированных по различным индексам // Изв. РАН. Сер. физическая. 2024. Т. 88, № 3. С. 347–355. DOI: 10.31857/S0367676524030023.

34. Семенов С.М., Мохов И.И., Семенов В.А., Жеребцов Г.А., Гулев С.К., Полонский А.Б., Соломина О.Н., Володин Е.М., Гинзбург А.С., Елисеев А.В., Бардин М.Ю., Борзенкова И.И., Борисова О.К. Российская наука и современная климатология: к 300-летию

Российской академии наук // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2024. Т. 10, № 1. С. 5–55. DOI: 10.21513/2410-8758-2024-1-05-55.

35. Сорокин А.Г., Добрынин В.А. О регистрации атмосферного эффекта извержения вулкана Хунга-Тонга // *Солнечно-земная физика*. 2024. Т. 10, № 1. С. 59–67. DOI: 10.12737/szf-101202408.

36. Сорокин А.Г., Добрынин В.А. Некоторые результаты атмосферных колебаний по данным акустической станции ИСЗФ СО РАН // *Акустический журнал*. 2024. Т. 70, № S5. С. 20.

37. Ташлыков В.П., Алсаткин С.С., Медведев А.В., Ратовский К.Г. Метод эффективных вычитаний: работа с данными Иркутского радара некогерентного рассеяния // *Солнечно-земная физика*. 2024. Т. 10, № 1. С. 68–73. DOI: 10.12737/szf-101202409.

38. Ткачев И.Д., Белецкий А.Б., Грач С.М., Насыров И.А., Шиндин А.В., Когогин Д.А. Искусственное оптическое свечение ионосферы в линиях 557.7 нм и 391.4 нм, индуцированное КВ-радиоизлучением стенда «Сура» // *Известия ВУЗов. Радиофизика*. 2024. Т. 67, № 10. С. 811–818. DOI: 10.52452/00213462_2024_67_10_811.

39. Усков Г.С., Сазонов С.Ю., Зазнобин И.А., Гильфанов М.Р., Буренин Р.А., Филиппова Е.В., Медведев П.С., Москалева А.В., Сюняев Р.А., Кривонос Р.А., Еселевич М.В. Новые активные ядра галактик, обнаруженные телескопами ART-XC и ЕРОЗИТА в ходе первых пяти рентгеновских обзоров всего неба обсерватории SRG. Ч. 2 // *Письма в АЖ*. 2024. Т. 50, № 5. С. 339–360. DOI: 10.31857/S0320010824050033.

40. Хабитуев Д.С., Жеребцов Г.А., Ивонин В.А., Лебедев В.П. Оценка электронного содержания плазмосферы и высоты перехода O⁺/H⁺ во время геомагнитной бури в феврале 2022 г. по данным Иркутского радара НР // *Солнечно-земная физика*. 2024. Т. 10, № 4. С. 31–40. DOI:10.12737/szf-104202404.

41. Хайкин В.Б., Шиховцев А.Ю., Миронов А.П. Статистические характеристики осажденного водяного пара, оптической толщи и облачности в северной части Евразии // *Астрон. журн*. 2024. Т. 100, № 2. С. 195–206. DOI: 10.31857/S0004629924020126.

42. Черниговская М.А., Сетов А.Г., Ратовский К.Г., Калишин А.С., Степанов А.Е. Изменчивость ионизации ионосферы над Евразией по данным цепи высокоширотных ионозондов во время экстремальных магнитных бурь 2015 г. // *Солнечно-земная физика*. 2024. Т. 10, № 2. С. 38–52. DOI: 10.12737/szf-102202404.

43. Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Жеребцов Г.А., Сетов А.Г., Хабитуев Д.С., Калишин А.С., Степанов А.Е., Белинская А.Ю., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А. Отклик ионосферы над регионами высоких и средних широт Евразии по данным ионозондов во время экстремальной магнитной бури в марте 2015 г. // *Солнечно-земная физика*. 2024. Т. 10, № 4. С. 51–64. DOI:10.12737/szf-104202406.

44. Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Сетов А.Г., Хабитуев Д.С., Ясюкевич А.С., Калишин А.С., Степанов А.Е., Белинская А.Ю., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А. Ионосферные и термосферные эффекты над Евразией в высоких и средних широтах во время магнитной бури в октябре 2016 года // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2024. Т. 21, № 5. С. 357–376. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-357-376.

45. Чурилов С.М. Распространение без отражения внутренних волн в обменном течении мелкой двухслойной среды в канале переменного сечения // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2024. Т. 60, № 4. С. 411–429. DOI: 10.31857/S0002351524040019.

46. Шарыкин И.Н., Зимовец И.В., Косовичев А.Г., Мышьяков И.И. Наблюдение геиосейсмически активной солнечной вспышки с малым потоком жёсткого рентгеновского излучения до 50 кэВ // *Письма в АЖ*. 2024. Т. 50, № 3. С. 233–250. DOI: 10.31857/S0320010824030051.

47. Шиховцев А.Ю., Коваadlo П.Г. Вертикальные профили оптической турбулентности и оценка внешнего масштаба турбулентности над Байкальской астрофизической об-

серваторией // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т. 37, № 9. С. 808–814. DOI: 10.15372/АОО20240912.

48. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г. Статистические оценки содержания водяного пара и оптической толщи атмосферы по данным реанализа и радиозондирования применительно к миллиметровым телескопам // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т. 37, № 2. С. 169–175. DOI: 10.15372/АОО20230212.

49. Шиховцев М.Ю., Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Оболкин В.А., Моложникова Е.В. Влияние структуры воздушных движений на характеристики турбулентности и содержание диоксида серы в атмосфере над ст. «Листвянка» // Оптика атмосферы и океана. 2024. Т. 37, № 11. С. 954–961. DOI: 10.15372/АОО20241108.

50. Язев С.А. Что происходит с Солнцем // Троицкий вариант. 2024. № 12. С. 1–4.

51. Язев С.А., Исаева Е.С., Томозов В.М., Иванов К.И., Хос-Эрдэнэ Б. К вопросу о северо-южной асимметрии солнечной активности в 25-м цикле Швабе — Вольфа // Астрон. журн. 2024. Т. 101, № 12. С. 1107–1116. DOI: 10.31857/S0004629924120086.

5.2. Зарубежные издания (включая переводные)

1. Alissandrakis C.E., Fleishman G.D., Fedenev V.V., White S.M., Altyntsev A.T. Giant postflare loops in active regions with an extremely strong coronal magnetic field // *Astrophys. J.* 2024. Vol. 971, no. 2. P. 122. DOI: 10.3847/1538-4357/ad5831.

2. Altyntsev A.T., Globa M.V., Meshalkina N.S., Sych R.A. Observations of coronal holes with the Siberian radioheliograph // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 3. P. 3–10. DOI: 10.12737/stp-103202401.

3. Annenkov V.V., Volchok E.P., Timofeev I.V. Electromagnetic emission from plasma with counter-streaming electron beams in the regime of oblique instability dominance // *Physics of Plasmas*. 2024. Vol. 31, no. 31. P. 033104. DOI: 10.1063/5.0190331.

4. Antokhina O., Gochakov A.V., Zorkaltseva O.S., Antokhin P.N., Krupchatnikov V.N. Rossby wave breaking in the stratosphere: Part I. Climatology and long-term variability // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2024. Vol. 37, no. 4. P. 514–521. DOI: 10.1134/S1024856024700696.

5. Belkin S., Pozanenko A., Minaev P., Pankov N.S., Volnova A., Rossi A., Stratta G., Benetti S., Palazzi E., Moskvitin A.S., Burhonov O., Rumyantsev V.V., Klunko E., Inasaridze R., Reva I., Kim V., Jelinek M., Kann D.A., Volvach A.E., Volvach L.N., Xu D., Zhu Z., Fu S., Mkrtychyan A.A. GRB 201015A: from seconds to months of optical monitoring and supernova discovery // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2024. Vol. 527, no. 4. P. 11507–11520. DOI: 10.1093/mnras/stad3989.

6. Belyuchenko K.V., Klimenko M., Klimenko V.V., Ratovsky K.G. Modeling the UT effect of zone-averaged disturbances in the parameters of the upper atmosphere for a geomagnetic storm in March 2015 // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics*. 2024. Vol. 88, no. 3. P. 303–309. DOI: 10.1134/S1062873823705445.

7. Bolsunovskii M.A., Shestakov N.V., Dolgikh G., Perevalova N.P., Ten A.S. Ionospheric disturbances over Primorsky Krai caused by the eruption of the Hunga Tonga-Hunga Ha’apai volcano on January 15, 2022 // *Geodynamics and Tectonophysics*. 2024. Vol. 15, no. 1. P. 0738. DOI: 10.5800/GT-2024-15-1-0738.

8. Borovik A.V. Low-power solar flares in the H α line: research results // *Acta Astrophysica Taurica*. 2024. Vol. 5, no. 4. P. 17–28.

9. Calabia A.A., Imtiaz N., Altadill D., Yasyukevich Yu.V., Segarra A., Prol F., Adhikari B., del Peral L., Rodriguez Frias M.D., Molina I. Uncovering the drivers of responsive ionospheric dynamics to severe space weather conditions: a coordinated multi-instrumental approach // *J. Geophys. Res.* 2024. Vol. 129, no. 3. P. e2023JA031862. DOI: 10.1029/2023JA031862.

10. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Three-minute oscillations in sunspot's penumbrae and superpenumbrae. Alfvénic or sound? // *Solar Phys.* 2024. Vol. 299, no. 10. P. 139. DOI: 10.1007/s11207-024-02371-2.
11. Chen C., Pavlov I., Padokhin A., Yasyukevich Yu.V., Demyanov V.V., Danilchuk E.I., Vesnin A.M. Galileo and BeiDou AltBOC Signals and their perspectives for ionospheric TEC studies // *Sensors.* 2024. Vol. 24, no. 19. P. 6472. DOI: 10.3390/s24196472.
12. Chernigovskaya M.A., Setov A., Ratovsky K.G., Kalishin A.S., Stepanov A.E. Variability of ionospheric ionization over Eurasia according to data from a high-latitude ionosonde chain during extreme magnetic storms in 2015 // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 2. P. 34–47. DOI: 10.12737/stp-102202404.
13. Chernigovskaya M.A., Ratovsky K.G., Zherebtsov G.A., Setov A., Khabituev D.S., Kalishin A.S., Stepanov A.E., Belinskaya A.Yu., Bychkov V.V., Grigorieva S.A., Panchenko V.A. Ionospheric response over the high and middle latitude regions of Eurasia according to ionosonde data during the severe magnetic storm in March 2015 // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 4. P. 51–64. DOI: 10.12737/stp-104202406.
14. Churilov S.M. Nonreflecting Propagation of Internal Waves in an Exchange Flow of a Shallow Two-Layer Medium in a Channel with a Variable Cross Section // *Izv. Atmospheric and Oceanic Physics.* 2024. Vol. 60, no. 4. P. 351–367. DOI: 10.1134/S0001433824700427.
15. Churilov S.M. Traveling Alfvén waves in inhomogeneous plasma flows along magnetic field // *Physics of Fluids.* 2024. Vol. 36, no. 8. P. 087166. DOI: 10.1063/5.0223591.
16. Danilova O.A., Ptitsyna N.G., Sdobnov V.E. Hysteresis phenomena in the response of geomagnetic activity and cosmic ray parameters to variations in the interplanetary medium during a magnetic storm // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 3. P. 66–74. DOI: 10.12737/stp-103202408.
17. Duann Y., Chang L.C., Chiu Y.C., Salinas C., Dmitriev A.V., Ratovsky K.G., Medvedeva I.V., Vasilyev R.V., Mikhalev A.V., Liu J., Lin C.H., Fang T.W. Atomic oxygen ion retrieval from 630.0 nm airglow during geomagnetically quiet periods: a mid-latitude case study near Irkutsk // *Geoscience Lett.* 2024. Vol. 11, no. 1. P. 55. DOI: 10.1186/s40562-024-00370-6.
18. Emmela S., Rama L., Anusha B., Bhavana D., Yasyukevich Yu.V., Demyanov V.V., Venkata R.D. Global ionospheric total electron content short-term forecast based on light gradient boosting machine, extreme gradient boosting, and gradient boost regression // *Adv. Space Res.* 2024. Vol. 74, no. 8. P. 3642–3653. DOI: 10.1016/j.asr.2024.07.012.
19. Fainshtein V.G., Egorov Ya.I. Velocity Oscillations in CME and related shock: A comparative analysis // *Solar Phys.* 2024. Vol. 299, no. 2. P. 9. DOI: 10.1007/s11207-024-02250-w.
20. Fan Y., Kazachenko M.D., Afanasyev A.N., Fisher G.H. A data-driven MHD simulation of the 2011-02-15 coronal mass ejection from Active Region NOAA 11158 // *Astrophys. J.* 2024. Vol. 975, no. 2. P. 206. DOI: 10.3847/1538-4357/ad7f53.
21. Fedenev V.V., Nakariakov V.M., Anfinogentov S. Slow magnetoacoustic waves in smoothly nonuniform coronal plasma structures // *Solar Phys.* 2024. Vol. 299, no. 1. P. 2. DOI: 10.1007/s11207-023-02246-y.
22. Gavrilov N.M., Popov A.A., Dalin P.A., Perminov V.I., Pertsev N.N., Medvedeva I.V., Ammosov P., Gavriilyeva G., Koltovskoi I.I. Multiyear variations of time-correlated mesoscale OH temperature perturbations near the mesopause at Maymaga, Tory and Zvenigorod // *Adv. Space Res.* 2024. Vol. 73, no. 7. P. 3408–3422. DOI: 10.1016/j.asr.2023.05.049.
23. Grechnev V.V., Kiselev V., Uralov A.M., Meshalkina N.S., Firoz K.A., Lysenko A. Mysteries of the 17 May 2012 solar event responsible for GLE71. I. CME development and the role of disturbances excited by eruptions // *Solar Phys.* 2024. Vol. 299, no. 9. P. 129. DOI: 10.1007/s11207-024-02373-0.
24. Guglielmi A., Klain B.I., Potapov A.S. On the spectrum of ultralow-frequency oscillations of the ionosphere in the PC1 range // *Izv. Physics of the Solid Earth.* 2024. Vol. 60, no. 4. P. 736–741. DOI: 10.1134/S1069351324700708.

25. Guglielmi A., Feygin F.Z., Potapov A.S. Ponderomotive redistribution of heavy ions along a magnetic field line // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 4. P. 17–21. DOI: 10.12737/stp-104202402.
26. Hou P., Zhang B., Yasyukevich Yu.V. Homogeneous PPP–RTK user positioning performance as a consequence of network integer ambiguity resolution // *GPS Solutions.* 2024. Vol. 28, no. 2. P. 60. DOI: 10.1007/s10291-023-01600-8.
27. Ivanov K.I., Komarova E., Yazev S.A. Studying the main characteristics of the Geminid meteor shower from baseline video observations in 2021 // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 4. P. 122–131. DOI: 10.12737/stp-104202413.
28. Karakotov R.R., Kuznetsov A.A., Anfinogentov S., Nakariakov V.M. Slushing oscillations in hot coronal loops associated with M-class flares // *Solar Phys.* 2024. Vol. 299, no. 12. P. 163. DOI: 10.1007/s11207-024-02404-w.
29. Kato Y., Shiokawa K., Tanaka Y., Ozaki M., Kadokura A., Oyama S.-I., Oinats A.V., Connors M., Baishev D.G. Longitudinal Development of cosmic noise absorption based on multipoint observations at subauroral latitudes during storm-time substorms on 25–28 August 2018 // *J. Geophys. Res.* 2024. Vol. 129, no. 1. P. e2023JA031950. DOI: 10.1029/2023JA031950.
30. Kato Y., Shiokawa K., Tanaka Y., Yoshimasa O., Mitsunori K., Akira O., Shin-Ichiro J., Oinats A.V., Connors M., Baishev D.G. Spatio-temporal development of cosmic noise absorption at subauroral latitudes using multipoint ground-based riometers // *J. Geophys. Res.* 2024. Vol. 129, no. 7. P. e2023JA032206. DOI: 10.1029/2023JA032206.
31. Khabituev D.S., Zherebtsov G.A., Ivonin V.A., Lebedev V.P. Estimated plasmasphere electron content and O⁺/H⁺ transition height during the February 2022 geomagnetic storm from Irkutsk IS Radar data // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 4. P. 31–40. DOI: 10.12737/stp-104202404.
32. Khaikin V., Shikhovtsev A.Yu., Mironov A. Statistical characteristics of precipitated water vapor, optical depth and cloudiness in the northern part of Russia // *Astronomy Rep.* 2024. Vol. 68, no. 6. P. 222–232. DOI: 10.1134/S1063772924700197.
33. Kobanov N.I., Chelpanov A.A. Observational characteristics of oscillations and waves in and around sunspots. Difficulties in observing and interpreting // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 1. P. 3–9. DOI: 10.12737/stp-101202401.
34. Kochanov A.A., Kiselev V., Grechnev V.V., Uralov A.M. Localization of the gamma-ray emission region in the 1 September 2014 behind-the-limb solar flare according to the Fermi/LAT data // *Solar Phys.* 2024. Vol. 299, no. 2. P. 18. DOI: 10.1007/s11207-024-02264-4.
35. Kopylov E.A., Potanin S.A., Bol'basova L.A., Shikhovtsev A.Yu., Sachkov M. Astroclimate of the Terskol Observatory // *Proc. SPIE.* 2024. Vol. 13097: Adaptive Optics Systems IX. P. 130974F. DOI: 10.1117/12.3020648.
36. Korobtsev I. V., Mishina M.N., Karavaev Yu.S., Eselevich M.V., Goryashin V. Photometrical observations and share modeling of space debris in medium Earth orbits // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 1. P. 68–75. DOI: 10.12737/stp-101202410.
37. Kovalev I.I., Kravtsova M., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Spectra and Anisotropy of cosmic rays during GLE64 // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2024. Vol. 64, no. 1. P. 44–48. DOI: 10.1134/S0016793223600893.
38. Kovalev I.I., Kravtsova M., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E., Starodubtsev S.A. Monitoring of near-Earth space, Earth's magnetosphere and atmosphere during Forbush decreases in August 2005 // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 2. P. 26–33. DOI: 10.12737/stp-102202403.
39. Kovalev I.I., Kravtsova M., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Variation spectra and anisotropy of cosmic rays during Forbush effects in March 2023 // *Cosmic Res.* 2024. Vol. 62, no. 6. P. 533–539. DOI: 10.1134/S001095252460032X.
40. Kozlov D.A., Leonovich A.S., Vlasov A.A. Determining the radial structure of high-m Alfvén wave by means of the phase portrait method // *Adv. Space Res.* 2024. Vol. 73, no. 1. P. 624–631. DOI: 10.1016/j.asr.2023.08.009.

41. Kupryakov Y.A., Gorshkov A.B., Kashapova L.K., Barta M. Analysis and processing technique for the spectra of pulsations of radio, optical and X-ray radiation of the 2015 solar flare // *Acta Astrophysica Taurica*. 2024. Vol. 5, no. 2. P. 34–36.
42. Kurkin V.I., Medvedeva I.V., Podlesnyi A.V. Effect of sudden stratosphere warming on characteristics of medium-scale traveling ionospheric disturbances in the Asian region of Russia // *Adv. Space Res.* 2024. Vol. 73, no. 7. P. 3613–3623. DOI: 10.1016/j.asr.2023.09.020.
43. Kurkin V.I., Podlesny A.V., Tsedrik M.V., Soph'in A.V. Seasonal and daily features of the characteristics of medium-scale traveling ionospheric disturbances in Asian Russia in years of moderate solar activity // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 3. P. 369–375. DOI: 10.1134/S001679322460005X.
44. Kurkin V.I., Zolotukhina N.A., Ponomarchuk S.N., Oinats A.V., Ratovsky K.G. Specific features of ionospheric disturbances accompanying the magnetic storm of January 14–20, 2022 // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 6. P. 869–880. DOI: 10.1134/S0016793224600784.
45. Kuzin S., Kirichenko A.S., Pertsov A., Bogachev S., Erkhova N.F. Pin-hole camera based on soft X-ray solar telescope for nanosatellite // *Technical Phys.* 2024. Vol. 69, no. 3. P. 592–594. DOI: 10.1134/S106378422402018X.
46. Kuzin S., Bogachev S., Erkhova N.F., Pertsov A., Loboda I., Reva A.A., et al. Solar VUV telescope for nanosatellites // *Technical Phys.* 2024. Vol. 69, no. 3. P. 595–600. DOI: 10.1134/S1063784224020191.
47. Kuznetsov A.A., Wu Zh., Anfinogentov S., Su Y., Chen Y. Electron acceleration and transport in the 2023-03-06 solar flare // *Frontiers in Astronomy and Space Science*. 2024. Vol. 11. P. id. 1407955. DOI: 10.3389/fspas.2024.1407955.
48. Laryunin O.A., Kurkin V.I., Rybkina A.A., Podlesnyi A.V. Determination of the velocity of ionospheric disturbances from the dynamics of additional U-shaped traces on ionograms // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 2. P. 235–241. DOI: 10.1134/S0016793223601084.
49. Lukyantsev D., Afanasiev N.T., Tanaev A., Chudaev S.O. Numerical-analytical modeling of gravitational lensing of the electromagnetic waves in random-inhomogeneous space plasma // *Computer Research and Modeling*. 2024. Vol. 16, no. 2. P. 433–443. DOI: 10.20537/2076-7633-2024-16-2-433-443.
50. Mandal K., Kosovichev A.G., Pipin V.V. Helioseismic properties of dynamo waves in the variation of solar differential rotation // *Astrophys. J.* 2024. Vol. 973, no. 1. P. 36. DOI: 10.3847/1538-4357/ad5f2c.
51. Melnikov V.F., Meshalkina N.S. Contraction effect of coronal loops during the flare of February 24, 2023 // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 8. P. 179–183. DOI: 10.1134/S001679322470052X.
52. Meshalkina N.S., Altyntsev A.T. Heating manifestations at the onset of the 29 June 2012 flare // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 3. P. 11–17. DOI: 10.12737/stp-103202402.
53. Michael C.M., Yeoman T.K., Wright D.M., Chelpanov M., Mager P. Evolving phase propagation in an intermediate-m ULF wave driven by substorm-injected particles // *J. Geophys. Res.* 2024. Vol. 129, no. 3. P. e2023JA031654. DOI: 10.1029/2023JA031654.
54. Mikhalev A.V. Auroras during extreme geomagnetic storms: some features of mid-latitude aurora on February 11, 1958 // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 2. P. 55–61. DOI: 10.12737/stp-102202406.
55. Mishin V.V., Klibanova Y., Marchuk R., Mikhalev A.V., Penskiikh Yu. Midlatitude bursts of PiB geomagnetic pulsations and night airglow during stormtime sawtooth events // *Adv. Space Res.* 2024. Vol. 73, no. 7. P. 3708–3721. DOI: 10.1016/j.asr.2023.06.032.
56. Mordvinov V.I., Devyatova E.V., Tomozov V.M. Dependence of normal modes of the barotropic vortex equation on the mean flow structure and numerical simulation parameters // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 4. P. 22–30. DOI: 10.12737/stp-104202403.

57. Muratova N.O., Kashapova L.K. A Statistical analysis of parameters of type-III radio flares according to Solar Spectropolarimeter of Meter Range (SSMR) data // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 8. P. 126–131.
58. Parkhomov V.A., Eselevich V.G., Tsegmed B., Eselevich M.V. Magnetospheric response on impact of solar wind diamagnetic structures borne by eruptive prominence // *Proc. Mongolian Academy of Science*. 2024. Vol. 64, no. 02. P. 3–23. DOI: 10.5564/pmas.v64i02.3648.
59. Petrashchuk A.V., Mager P., Klimushkin D. Ballooning instability in the dipole magnetosphere: The finite transverse wavelength influence // *Physics of Plasmas*. 2024. Vol. 31, no. 21. P. 022903. DOI: 10.1063/5.0187408.
60. Pipin V.V., Kosovichev A.G. Toroidal magnetic flux budget in mean-field dynamo model of solar cycles 23 and 24 // *Astrophys. J.* 2024. Vol. 962, no. 1. P. 25. DOI: 10.3847/1538-4357/ad1590.
61. Pipin V.V. Solar poloidal magnetic field generation rate from observations and mean-field dynamos // *Solar Phys.* 2024. Vol. 299, no. 8. P. 111. DOI: 10.1007/s11207-024-02357-0.
62. Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Exploring the dynamics of collisionless spherical stellar systems using the matrix method: Insights from the dilation mode // *Astron. Astrophys.* 2024. Vol. 684. P. A58. DOI: 10.1051/0004-6361/202348556.
63. Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Damped perturbations in inviscid shear flows: Non-resonant Landau damping in stable inflectional flows // *Physics of Fluids*. 2024. Vol. 36, no. 9. P. 094105. DOI: 10.1063/5.0220210.
64. Ponomarchuk S.N., Kurkin V.I., Ilyin N.V., Penzin M.S. HF radio path modeling by waveguide approach // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 2. P. 93–101. DOI: 10.12737/stp-102202409.
65. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P. Automatic interpretation of oblique sounding ionograms based on hybrid algorithms // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 2. P. 102–110. DOI: 10.12737/stp-102202410.
66. Ponomarchuk S.N., Zolotukhina N.A. Disturbances of ionospheric radio channel during magnetic storms in November–December 2023 // *Solar-Terrestrial Physics*. 2024. Vol. 10, no. 4. P. 91–105. DOI: 10.12737/stp-104202410.
67. Potapov A.S. Comparison of the Wave Structure of IAR Emission in the mid-latitude and auroral regions // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2024. Vol. 62, no. 1. P. 2002606. DOI: 10.1109/TGRS.2024.3368032.
68. Ratovsky K.G., Klimenko M., Vesnin A.M., Belyuchenko K.V., Yasyukevich Yu.V. Comparative analysis of geomagnetic events identified according to different indices // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics*. 2024. Vol. 88, no. 3. P. 296–302. DOI: 10.1134/S1062873823705433.
69. Sánchez-Ramírez R., Lang R.G., Pozanenko A., Martínez-Huerta H., Hu Y., Pandey S.B., Klunko E., et. al. Early photometric and spectroscopic observations of the extraordinarily bright INTEGRAL-detected GRB 221009A // *Astron. Astrophys.* 2024. Vol. 692. P. A3. DOI: 10.1051/0004-6361/202449783.
70. Shamsutdinova Yu.N., Kashapova L.K., Li Z., Su W. Spatial and spectral evolution of microwave and X-ray sources during the solar limb flare on February 5, 2023 // *Solar Phys.* 2024. Vol. 299, no. 6. P. 80. DOI: 10.1007/s11207-024-02331-w.
71. Shamsutdinova Yu.N., Kashapova L.K., Zhang J., Reid H.A.S., Zhdanov D.A. Relationship between microwave and metre ranges during an impulsive solar flare // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2024. Vol. 533, no. 2. P. 1453–1462. DOI: 10.1093/mnras/stae1899.
72. Schüssler M., Cameron R., Charbonneau P., Dikpati M., Hotta H., Kitchatinov L.L. Editorial to the topical collection. Solar and stellar dynamos: a new era // *Space Science Reviews*. 2024. Vol. 220, no. 1. P. 2. DOI: 10.1007/s11214-023-01037-y.
73. Sharykin I.N., Zimovets I.V., Kosovichev A.G., Myshyakov I.I. Observation of a helioseismically active solar flare with a low hard X-ray flux up to 50 keV // *Astronomy Lett.* 2024. Vol. 50, no. 3. P. 203–219. DOI: 10.1134/S1063773724700026.

74. Shikhovtsev A.Yu., Kiselev A.V., Kovadlo P.G., Kopylov E.A., Kirichenko K., Ehgamberdiev S., Tillayev Y. Estimation of astronomical seeing with neural networks at the Maidanak Observatory // *Atmosphere*. 2024. Vol. 15, no. 1. P. 38. DOI: 10.3390/atmos15010038.
75. Shikhovtsev A.Yu., Potanin S.A., Kopylov E.A., Qian X., Bolbasova L., Panchuk A., Kovadlo P.G. Simulating vertical profiles of optical turbulence at the Special Astrophysical Observatory site // *Atmosphere*. 2024. Vol. 15, no. 11. P. 1346. DOI: 10.3390/atmos15111346.
76. Shikhovtsev A.Yu. Reference optical turbulence characteristics at the Large Solar Vacuum Telescope site // *Publications of the Astron. Society of the Pacific*. 2024. Vol. 76, no. 3. P. 538–549. DOI: 10.1093/pasj/psae031.
77. Shikhovtsev A.Yu., Qing C., Kopylov E.A., Potanin S.A., Kovadlo P.G. Vertical distribution of optical turbulence at the Peak Terskol Observatory and Mount Kurapdag // *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, no. 12. P. 2102. DOI: 10.3390/rs16122102.
78. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G. Advanced observation for geophysics, climatology and astronomy // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, no. 13. P. 5439. DOI: 10.3390/app14135439.
79. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G. Statistical estimates of the vapor content and atmospheric optical thickness from reanalysis and radiosounding data as applied to millimeter telescopes // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2024. Vol. 37, no. 3. P. 438–444. DOI: 10.1134/S1024856024700532.
80. Skomorovsky V.I., Proshin V.A., Kushtal G.I., Tokareva L.S., Firstov S.V. Advances in optical coating uniformity of interference filters // *Optik*. 2024. Vol. 314. P. 171980. DOI: 10.1016/j.ijleo.2024.171980.
81. Sorokin A.G., Dobrynin V.A. Registration of the atmospheric effect of the Hunga Tonga volcano eruption // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 1. P. 54–62. DOI: 10.12737/stp-101202408.
82. Starodubtsev S.A., Kovalev I.I., Gololobov P., Grigoryev V., Kravtsova M., Krymsky G., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Investigating the heliosphere, magnetosphere, atmosphere, and properties of cosmic rays during the 2018 Aug 25–26 strong geomagnetic storm // *Adv. Space Res.* 2024. Vol. 73, no. 8. P. 4363–4377. DOI: 10.1016/j.asr.2024.01.027.
83. Starodubtsev S.A., Kovalev I.I., Gololobov P., Grigoryev V., Kravtsova M., Krymsky G., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Corrigendum to “Investigating the heliosphere, magnetosphere, atmosphere, and properties of cosmic rays during the 2018 Aug 25–26 strong geomagnetic storm” [*Adv. Space Res.* 73 (2024) 4363–4377/AISR-D-23-01163] // *Adv. Space Res.* 2024. Vol. 73, no. 10. P. 5302–5303. DOI: 10.1016/j.asr.2024.09.046.
84. Sych R.A., Zhu X.-S., Chen Y., Yan F. Spatial structure of resonance cavities in sunspots // *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* 2024. Vol. 529, no. 2. P. 967–978. DOI: 10.1093/mnras/stae575.
85. Syrenova T., Beletsky A.B., Vasilyev R.V. Geo-referencing images of wide-angle optical systems // *Technical Phys.* 2024. Vol. 69, no. 2. P. 424–430. DOI: 10.1134/S1063784224010407.
86. Tashlykov V.P., Alsatkin S.S., Medvedev A.V., Ratovsky K.G. Effective subtraction technique: implementation for Irkutsk incoherent scatter radar // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 1. P. 63–67. DOI: 10.12737/stp-101202409.
87. Uskov G.S., Sazonov S.Yu., Zaznubin I.A., Gilfanov M.R., Burenin R.A., Filippova E.V., Medvedev P.S., Moskaleva A.V., Sunyaev R.A., Krivonos R.A., Eselevich M.V. New active galactic nuclei detected by the ART-XC and eROSITA telescopes during the first five SRG all-sky X-ray surveys. Part 2 // *Astronomy Lett.* 2024. Vol. 50, no. 5. P. 279–301. DOI: 10.1134/S106377372470018X.
88. Vyatkin A.N., Zorkaltseva O.S., Mordvinov V.I. Influence of El Nino on parameters of the middle and upper atmosphere over Eastern Siberia according to reanalysis and model data in winter // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 1. P. 40–48. DOI: 10.12737/stp-101202406.
89. Wu Zh., Kuznetsov A.A., Anfinogentov S., Melnikov V.F., Sych R.A., Wang B., Zheng R., Kong X., Tan B., Ning Z., Chen Y. A multi-peak solar flare with a high turnover fre-

- quency of the gyrosynchrotron spectra from the loop-top source // *Astrophys. J.* 2024. Vol. 968, no. 1. P. 5. DOI: 10.3847/1538-4357/ad46ff.
90. Yadav R., Kazachenko M.D., Afanasyev A.N., Cauzzi C., Reardon K. Photospheric pore rotation associated with a C-class Flare from spectropolarimetric observations with DKIST // *Astrophys. J. Lett.* 2024. Vol. 973, no. 1. P. L10. DOI: 10.3847/2041-8213/ad758d.
91. Yamamoto K., Rubtsov A.V., Kostarev D.V., Mager P., Klimushkin D., Nosé M., Matsuoka A., Asamura K., Miyoshi Y., Yokota S., Kasahara S., Hori T. Direct evidence of drift-compressional wave generation in the Earth's magnetosphere detected by Arase // *Geophys. Res. Lett.* 2024. Vol. 51, no. 828. P. e2023GL107707. DOI: 10.1029/2023GL107707.
92. Yasyukevich Yu.V., Zhang B., Devanaboyina V. Advances in GNSS positioning and GNSS remote sensing // *Sensors.* 2024. Vol. 24, no. 4. P. 1200. DOI: 10.3390/s24041200.
93. Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M., Astafyeva E.I., Maletckii B.M., Lebedev V.P., Padokhin A. Supersonic Waves Generated by the 18 November 2023 Starship flight and explosions: Unexpected northward propagation and a man-made non-chemical depletion // *Geophys. Res. Lett.* 2024. Vol. 51, no. 16. P. e2024GL109284. DOI: 10.1029/2024GL109284.
94. Yazev S.A. Concepts about the Sun at the dawn of civilization // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S1–S9. DOI: 10.1134/S1063772923130012.
95. Yazev S.A. The Sun at the center of the world // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S10–S17. DOI: 10.1134/S1063772923130024.
96. Yazev S.A. The Sun: dark and cold // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S18–S23. DOI: 10.1134/S1063772923130036.
97. Yazev S.A. The Sun made of hot gas // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S24–S30. DOI: 10.1134/S1063772923130048.
98. Yazev S.A. The Sun emitting light // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S31–S37. DOI: 10.1134/S1063772923130012.
99. Yazev S.A. The Sun: Methodology, theory, practice // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S38–S50. DOI: 10.1134/S1063772923130073.
100. Yazev S.A. A Cross-cut of the Sun // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S51–S57. DOI: 10.1134/S1063772923130085.
101. Yazev S.A. Sunspots, solar flares, and coronal partings // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Issue: Brief History of Sun Exploration. P. S58–S66. DOI: 10.1134/S1063772923130012.
102. Yazev S.A. Solar activity in space and time // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S67–S73. DOI: 10.1134/S106377292313005X.
103. Yazev S.A., Kitchatinov L.L. The origin of the solar activity // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no.1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S74–S77. DOI: 10.1134/S1063772923130103.
104. Yazev S.A. Solar flares and their terrestrial manifestations // *Astronomy Rep.* 2023. Vol. 67, no. 12: Suppl. no. 1. Special Iss. Brief History of Sun Exploration. P. S78–S85. DOI: 10.1134/S1063772923130115.
105. Zagainova Yu., Gromov S.V., Gromova L.I., Fainshtein V.G. Study of sudden magnetic storm commencement from observations with second time resolution // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2024. Vol. 64, no. 3. P. 313–328. DOI: 10.1134/S0016793224600152.

106. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Rudenko G.V. The influence of explosive processes in active regions on the characteristics of the magnetic field in the umbra of sunspots depending on their size and position // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2024. Vol. 64, no. 8. P. 159–164. DOI: 10.1134/S001679322470049X.

107. Zhang Z., Jiang J., Kitchatinov L.L. Modeling the effects of starspots on stellar magnetic cycles // *Astron. Astrophys.* 2024. Vol. 686. P. A90. DOI: 10.1051/0004-6361/202348201.

108. Zherebtsov G.A., Tashchilin A.V., Perevalova N.P., Ratovsky K.G., Medvedeva I.V. Modeling the influence of changes in the parameters of a neutral atmosphere on the ionospheric electron density // *Doklady Earth Sciences*. 2024. Vol. 517, no. 2. P. 1371–1376. DOI: 10.1134/S1028334X2460227X.

109. Zherebtsov G.A., Ratovsky K.G., Medvedeva I.V. Long-term variations in peak electron density and temperature of mesopause region: dependence on solar, geomagnetic, and atmospheric activities, long-term trends // *Solar-Terrestrial Phys.* 2024. Vol. 10, no. 4. P. 5–16. DOI: 10.12737/stp-104202401.

5.3. Монографии

1. Язев С.А. Мир, в котором мы живем (элементы космологии): учебно-методическое пособие для преподавателей общеобразовательных школ и учреждений дополнительного образования. Ярославль: Индиго, 2024. 52 с.

2. Язев С.А., Шахворостова Н.Н. Российские орбитальные обсерватории: учебно-методическое пособие для преподавателей общеобразовательных школ и учреждений дополнительного образования. Ярославль: Индиго, 2024. 64 с.

3. Leonovich A.S., Mazur V.A., Klimushkin D. Magnetospheric MHD Oscillations: A Linear Theory. Berlin: Wiley-VCH, 2024. 448 p. DOI: 10.1002/9783527845736.

4. Brandenburg A., Elstner D., Masada Y., Pipin V. Turbulent Processes and Mean-Field Dynamo. *Solar and Stellar Dynamos. A New Era* / eds.: M. Schüssler, Cameron R., Charbonneau P., Dikpati M., Hotta H., Kitchatinov L.L. Dordrecht: Springer, 2024. 514 p. (Space Sciences Series of ISSI, vol.90) P. 357–413. DOI: 10.1007/s11214-023-00999-3.

5. Gopal Yazra, Dibyendu Nandy, Leonid Kitchatinov, Arnab Rai Choudhuri. Mean Field Models of Flux Transport Dynamo and Meridional Circulation in the Sun and Stars. *Solar and Stellar Dynamos. A New Era* / eds.: M. Schüssler, Cameron R., Charbonneau P., Dikpati M., Hotta H., Kitchatinov L.L. - Dordrecht: Springer, 2024. 514 p. (Space Sciences Series of ISSI; vol.90). P. 415–445. DOI: 10.1007/s11214-023-00982-y.

5.4. Результаты интеллектуальной деятельности

1. IonoView: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024618431 от 11.04.2024 / С.А.Серебренникова, М.В. Цедрик, А.В. Подлесный.

2. Электрооптический модулятор поляризованного излучения: патент на изобретение № 2817826 от 22.04.2024 / В.И. Скоморовский, Г.И. Кушталь, Л.С. Токарева, С.В. Фирстов, В.А. Химич, С.Е. Зайченко.

3. Скорость дрейфа ионосферы по данным метода D1 на станции Бадары за 1978–1990 гг.: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024623413 от 01.08.2024 / Д.С. Хабитуев, М.А. Черниговская.

4. Скорость дрейфа ионосферы по данным метода D1 на станции Зуй за 1958–1982 гг.: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024623414 от 01.08.2024 / Д.С. Хабитуев, М.А. Черниговская.

5.5. Электронные издания

1. Alissandrakis C. E., Fleishman G.D., Fedenev V.V., White S.M., Altyntsev A.T. Giant post-flare loops in active regions with extremely strong coronal magnetic fields // arXiv.org. 2024. CT. arXiv:2406.14638. DOI: 10.48550/arXiv.2406.14638.
2. Bergardt O.I. Minimum number of neurons in fully connected layers of a given neural network (the first approximation) // arXiv.org. 2024. arXiv: 2405.14147v1. <https://arxiv.org/pdf/2405.14147>.
3. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Three-minute oscillations in sunspot's penumbrae and superpenumbrae. Alfvénic or sound? // arXiv.org. 2024. Vol. 299, № 10. CT. arXiv:2409.15701. DOI: 10.48550/arXiv.2409.15701. <https://arxiv.org/pdf/2409.15701>.
4. Duann Y., Chang L.C., Chiu Y.C., Salinas C., Dmitriev A., Ratovsky K.G., Medvedeva I.V., Vasilyev R.V., Mikhalev A.V., Liu J., Lin C.H., Fang T.W. The comparison and validation of photochemical models for atomic oxygen ion retrieval from ground-based observations of 630.0 nm airglow near Irkutsk // Research Square Preprints. 2024. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4677484/v1.
5. Guglielmi A., Potapov A.S., Feygin F.Z. On ponderomotive metallization of magnetospheric plasma // arXiv.org. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2402.03364.
6. Kuznetsov A.A., Wu Zh., Anfinogentov S., Su Y., Chen Y. Electron acceleration and transport in the 2023-03-06 solar flare // arXiv.org. 2024. arXiv: 2405.18850v1. <https://arxiv.org/pdf/2405.18850>.
7. Mandal K., Kosovichev A.G., Pipin V.V. Helioseismic Properties of dynamo waves in the variation of solar differential rotation // arXiv.org. 2024. arXiv: 2402.15647v1. <https://arxiv.org/pdf/2402.15647>.
8. Pipin V.V. Solar poloidal magnetic field generation rate from observations and mean-field dynamos // arXiv.org. 2024. CT. arXiv:2408.04934 . <https://arxiv.org/pdf/2408.04934>.
9. Reva A., Kuzin S., Pertsov A., Kirichenko A.S., Dyatkov S., Loboda I., Chervinsky V., Kholodilov A., Trifonov A., Bogachev S., Chumak S. REFOS: Solar soft X-ray spectrophotometer on board nanosatellite // Research Square. 2024. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4938904/v1.
10. Setov A., Ratovsky K.G., Kashapova L.K. Intensity of 27-day variations in solar emission and ionospheric electron content // Adv. Space Res. 2024. DOI: 10.1016/j.asr.2024.10.054.
11. Shikhovtsev A.Yu., Kopylov E.A., Potanin S.A., Kovadlo P.G., Qing C. Optical turbulence vertical distribution at the Peak Terskol Observatory and Mt. Kurapdag // Preprints.org. 2024. 2024031475. DOI: 10.20944/preprints202403.1475.v1.
12. Wu Zh., Kuznetsov A.A., Anfinogentov S., Melnikov V.F., Sych R.A., Wang B., Zheng R., Kong X., Tan B., Ning Z., Chen Y. A multi-peak solar flare with a high turnover frequency of the gyrosynchrotron spectra from the loop-top source // arXiv.org. 2024. arXiv: 2405.03116v1. <https://arxiv.org/pdf/2405.03116>.
13. Zhang Z., Jiang J., Kitchatinov L.L. Modeling the effects of starspots on stellar magnetic cycles // arXiv.org. 2024. CT. arXiv:2402.17449. <https://arxiv.org/pdf/2402.17449>.

5.6. Доклады на российских конференциях

1. Балега Ю.Ю., Столяров В.А., Баранов С.А., Савинков А.С., Гунбина А.А., Леснов И.В., Марухно А.С., Минеев К.В., Алешков В.М., Медведев А.В., Кошелец В.П., Тарасов М.А., Ростокин И.Н., Вдовин В.Ф. О некоторых подходах к реализации субтерагерцового радиотелескопа на территории Российской федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Всероссийские открытые Армандовские чтения. Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром, 25–27 июня 2024 г.: сборник трудов конференции. Муром: Из-во: Владимирский гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2024. С. 49–58. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-49-58.

2. Белецкий А.Б., Михалев А.В., Сыренова Т. Е., Васильев Р.В. Структура и динамика среднеширотных сияний в 25-м солнечном цикле по данным оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса РАН // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Всероссийские открытые Армандовские чтения. Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром, 25–27 июня 2024 г.: сборник трудов конференции. Муром: Изд-во: Владимирский гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2024. С. 284–290. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-284-290.

3. Белецкий А.Б., Насыров И.А., Сыренова Т. Е., Когогин Д.А., Дементьев В.О., Емельянов В.В., Васильев Р.В. Возмущения свечения атмосферы на длине волны 630,0 нм при воздействии на ионосферу высокочастотного радиоизлучения стенда СУРА // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Всероссийские открытые Армандовские чтения. Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром, 25–27 июня 2024 г.: сборник трудов конференции. Муром: Изд-во: Владимирский гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2024. С. 291–300. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-291-300.

4. Богачев С.А., Кузин С.В., Кириченко К.Е., Ерхова Н.Ф., Лобода И.П., Рева А.А. Научные основы разработки группировки малоразмерных КА для мониторинга магнитного поля в околоземном космическом пространстве // К.Э. Циолковский: ключевые идеи и современные достижения космонавтики. Материалы 59 научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Калуга, 17–19 сентября 2024 г. Калуга: Эйдос, 2024. С. 42–45. eLIBRARY ID: 75174889.

5. Головкин А.А. Управляющие параметры эволюции солнечных активных областей // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: сборник трудов. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 77–80. DOI: 10.31725/0552-5829-2024-77-80.

6. Дементьев В.О., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Когогин Д.А., Емельянов В.В. Оценка статистической взаимосвязи интенсивности искусственного свечения ионосферы на длине волны 630 нм с индексами состояния ионосферы и космической погоды в рамках экспериментов на стенде «СУРА» в период 2021–2022 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Всероссийские открытые Армандовские чтения. Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром, 25–27 июня 2024 г.: сборник трудов конференции. Муром: Изд-во: Владимирский гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2024. С. 318–326. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-318-326.

7. Загайнова Ю.С., Обридко В.Н., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В. О некоторых особенностях эволюции магнитного комплекса активности, включающего АО NOAA 11944 и NOAA 11946, при его прохождении по диску Солнца // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: сборник трудов. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 115–118. DOI: 10.31725/0552-5829-2024-115-118.

8. Кашапова Л.К., Жмуркина А.Д., Шамсутдинова Ю.Н. Место первичного энерговыделения и радиовсплески III типа во время начала мощной солнечной вспышки // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: сборник трудов. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 153–156. DOI: 10.31725/0552-5829-2024-153-156 .

9. Когогин Д.А., Емельянов В.В., Максимов Д.С., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Шиндин А.В., Грач С.М., Загреддинов Р.В. Исследование возмущенной мощным радиоизлучением УНУ стенд СУРА области ионосферы по данным совместного анализа снимков ночного неба в линии 630 нм и карт вариаций полного электронного содержания в экспериментах 2021-2023 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Всероссийские открытые Армандовские

чтения. Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром, 25–27 июня 2024 г.: сборник трудов конференции. Муром: Изд-во: Владимирский гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2024. С. 307–311. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-307-311.

10. Койнаш Г.В., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н., Иванов Е.Ф., Киселев В.И., Низамов Б.А. Многоволновые наблюдения квазипериодических пульсаций в импульсной солнечной вспышке C2.8 класса // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: сборник трудов. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 169–172. DOI: 10.31725/0552-5829-2024-169-172.

11. Кудрявцева А.В., Мышьяков И.И., Анфиногентов С.А., Дашинимаева С.А. Источник над нейтральной линией в солнечной вспышке 23 марта 2024 года // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: сборник трудов. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 197–200. DOI: 10.31725/0552-5829-2024-197-200.

12. Полухина С.А., Кашапова Л.К. Исследование солнечной вспышки SOL2023-07-12 M7.2 с прерванной эрупцией // Физика космоса. Труды 51-й Всероссийской с международным участием студенческой научной конференции (Екатеринбург, Россия, 29 января – 2 февраля 2024 г.). Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2024. С. 153–156. DOI: 10.15826/B978-5-7996-3848-1.24.

13. Сорокин А.Г. Некоторые результаты анализа атмосферных колебаний по данным акустической станции ИСЗФ СО РАН // Всероссийская научная политематическая конференция «XXXVI сессия Российского акустического общества». Москва, 21–25 октября 2024 г.: труды. М., ГЕОС, 2024. DOI: 10.34756/GEO S.2024.17.38852.

14. Сыренова Т. Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В. Эффекты геомагнитной бури 01.12.2023 по данным оптических инструментов НГК и фотоснимкам Иркутского астрономического общества // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Всероссийские открытые Армандовские чтения. Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром, 25–27 июня 2024 г.: сборник трудов конференции. Муром: Изд-во: Владимирский гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2024. С. 301–306. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-301-306.

15. Ткачев И.Д., Белецкий А.Б., Насыров И.А., Грач С.М., Шиндин А.В. Результаты фотометрических измерений искусственного оптического свечения ионосферы в линиях 557.7 и 391.4 нм на стенде СУРА // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Всероссийские открытые Армандовские чтения. Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром, 25–27 июня 2024 г.: сборник трудов конференции. Муром: Изд-во: Владимирский гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2024. С. 471–477. DOI: 10.24412/2304-0297-2024-1-471-477.

16. Шамсутдинова Ю.Н., Рожкова Д.В., Кашапова Л.К., Губин А.В. Использование методов машинного обучения для создания каталога солнечных вспышек по наблюдениям на Сибирском Радиогелиографе // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: сборник трудов. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 347–350. DOI: 10.31725/0552-5829-2024-347-350.

17. Язев С.А. Космология в российской школе // Обучение физике и астрономии в общем и профессиональном образовании. XXII Всероссийская научно-практическая конференция. Иркутск, 27–28 марта 2024 г.: сборник трудов конференции. Иркутск: Аспринт, 2024. С. 169–173.

5.7. Доклады на международных конференциях

1. Beletsky A.B., Syrenova T., Mikhalev A.V., Marchuk R., Podlesnyi S.V., Vasilyev R.V. Mid-latitude auroras of the solar cycle 25 according to optical instruments of the National

heliogeophysical complex // Proc. 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024: Apatity, 2024. P. 12–15. DOI: 10.51981/2588-0039.2024.47.002.

2. Churilov S.M., Stepanyants Y. Long wave propagation in canals with spatially varying cross-sections and currents // Springer Proc. in Mathematics and Statistics. 6th International Workshop on Nonlinear and Modern Mathematical Physics, NMMP, Tallahassee, 17–19 June, 2022. Berlin: Springer-Verlag, 2024. Vol. 459. P. 19–79. DOI: 10.1007/978-3-031-59539-4_2.

3. Ermakov V., Lebedev V.P., Podlesny A.V., Cedrik M. Comparing the results of measurements by drone overflight method and modeling of delta type receiving and transmitting antennas // Proc. 2024 IEEE 9th All-Russian Microwave Conference (RMC). Russia, Moscow, November 25–29, 2024: IEEE, 2024. P. 395–399.

4. Gromik N.A., Ivonin V.A., Lebedev V.P. Information-analytical system for analyzing experimental data of ionospheric sounding // Proc. 2024 IEEE 9th All-Russian Microwave Conference (RMC). Russia, Moscow, November 25–29, 2024: IEEE, 2024. P. 106–109.

5. Ivonin V.A., Lebedev V.P., Yasyukevich Yu.V. Modification of IRI-2016 source code: improvements, parallelization // Proc. 4th URSI Atlantic Radio Science Meeting (AT-RASC). 2024. DOI: 10.46620/URSIATRASC24/COMM1727.

6. Kitchatinov L.L. Near-surface shear layer of solar rotation: origin and significance // Dynamics of solar and stellar convection zones and atmospheres. Proc. 365th Symposium of the IAU, Yerevan, Republic of Armenia, 21–25 August 2023. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2024. P. 54–58. DOI: 10.1017/S174392132300491X.

7. Kuklina F.R., Seminskiy I.K. Application of TEM and MTS electromagnetic soundings on the territory of the Munsky arch of the anabar antecline // Multidisciplinary Youth Academic Research Conference “Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century”. VIII научно-практическая конференция с международным участием. Иркутск, 23 мая 2024 г.: сборник трудов. Irkutsk, 2024. С. 17–19.

8. Maksimov D., Nasyrov I., Beletsky A.B., Shindin A., Grach S., Zagretdinov R.V. The method of joint analysis of the 630 nm artificial airglow images and total electron content maps is used to study large-scale irregularities in the HF-pumped ionosphere // Proc. 2024 IEEE 9th All-Russian Microwave Conference (RMC). Russia, Moscow, November 25–29, 2024: IEEE, 2024. P. 25–29.

9. Motyk I. Energy release during a decay phase of solar flares // Multidisciplinary Youth Academic Research Conference “Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century”. VIII научно-практическая конференция с международным участием. Иркутск, 23 мая 2024 г.: сборник трудов. Irkutsk, 2024. С. 20–22.

10. Pipin V.V. On origin of active/inactive branches on moderate rotating solar analogs // Dynamics of solar and stellar convection zones and atmospheres. Proc. 365th Symposium of the IAU, Yerevan, Republic of Armenia, 21–25 August 2023. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2024. P. 174–178. DOI: 10.1017/S1743921323005343.

11. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P. Forecast of HF radio channel from data of ionospheric backscatter sounding // Proc. 2024 IEEE 9th All-Russian Microwave Conference (RMC). Russia, Moscow, November 25–29, 2024: IEEE, 2024. P. 505–508.

12. Ponomarchuk S.N., Zolotukhina N.A. Effects in HF propagation during the November-December 2023 geomagnetic storms // Proc. 2024 IEEE 9th All-Russian Microwave Conference (RMC). Russia, Moscow, November 25–29, 2024: IEEE, 2024. P. 509–512.

13. Ratovsky K.G., Klimenko M., Vesnin A.M., Belyuchenko K.V. Reference responses of regional electron content to strong geomagnetic events // Proc. The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024. Apatity, 2024. P. 24–27. DOI: 10.51981/2588-0039.2024.47.005.

14. Shubin D.A., Rubtsov A.V., Klimushkin D. Observations of long-lived ULF waves in the Earth's magnetosphere according to the satellite data of the THEMIS mission // Multidisciplinary Youth Academic Research Conference “Science Present and Future: Research

Landscape in the 21st century”. VIII научно-практическая конференция с международным участием. Иркутск, 23 мая 2024 г.: сборник трудов. Irkutsk, 2024. С. 22–24.

15. Sofyin A.V., Kurkin V.I. Evaluation of characteristics of medium-scale travelling ionospheric disturbances based on the data of oblique ionospheric sounding // Proc. 2024 IEEE 9th All-Russian Microwave Conference (RMC). Russia, Moscow, November 25–29, 2024: IEEE, 2024. P. 527–530.

16. Syrenova T., Beletsky A.B., Vasilyev R.V., Podlesny S. Spatiotemporal characteristics of the December 1, 2023 magnetic storm on data from the NHC optical complex and the Irkutsk Regional Astronomical Society // Proc. 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024. Apatity, 2024. P. 28–31. DOI: 10.51981/2588-0039.2024.47.006.

17. Voronova E.A., Ratovsky K.G. Diurnal variations in sporadic layer characteristics // Multidisciplinary Youth Academic Research Conference “Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century”. VIII научно-практическая конференция с международным участием. Иркутск, 23 мая 2024 г.: сборник трудов конференции. Irkutsk, 2024. С. 24–28.

18. Антохина О.Ю., Гочаков А.В., Зоркальцева О.С., Антохин П.Н., Крупчатников В.Н. Климатология и долговременная изменчивость опрокидываний волн Россби в стратосфере // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума, г. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E106-E113.

19. Белецкий А.Б., Насыров И.А., Сыренова Т. Е., Когогин Д.А., Дементьев В.О., Подлесный С.В., Емельянов В.В., Васильев Р.В. Перемещающиеся возмущения в эмиссии атомарного кислорода 630 нм во время воздействия на ионосферу мощного коротковолнового излучения стенда СУРА // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума, г. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E199-E202.

20. Белюченко К.В., Клименко М.В., Ратовский К.Г., Клименко В.В. Сравнение вкладов различных высотных интервалов в отклике регионального электронного содержания в высоких широтах на геомагнитные бури в весенний сезон // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 102–104.

21. Воронова Е.А., Ратовский К.Г. Суточные вариации характеристик спорадического слоя ES над Иркутском // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 120–122.

22. Громик Н.А., Ивонин В.А., Лебедев В.П. Разработка информационной системы комплексного анализа геофизических данных, полученных на радиофизических средствах ИСЗФ СО РАН // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 123–126. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-123.

23. Данильчук Е.И., Демьянов В.В. Модель фазы несущей трансionoсферного сигнала для тестирования процедур фильтрации и расчетов индексов мерцаний // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E78–E81.

24. Данильчук Е.И., Демьянов В.В. Тестирование процедур удаления тренда измерений фазы несущей и расчета индексов ионосферных мерцаний // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие

- полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 253–255. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-253.
25. Дрига М.Б., Шиховцев А.Ю., Коваadlo П.Г. Метод локализации изображения солнечного пятна в фокальной плоскости датчика ШАКА-ГАРТМАНА с использованием нормализации изображения // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 139–140. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-139.
26. Егоров Я.И., Файнштейн В.Г. Исследование колебаний скорости КВМ и связанной с ним ударной волны // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 22–24. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-22.
27. Едемский И.К., Тащилин А.В. Исследование влияния описания нейтральной атмосферы на результаты моделирования эффектов магнитной бури февраля 2022 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 256–258. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-256.
28. Емельянов В.В., Когогин Д.А., Максимов Д.С., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Шиндин А.В., Грач С.М., Загретдинов Р.В. Диагностика возмущенной области ионосферы по данным оптических измерений и ГНСС радиозондирования // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 141–143. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-141.
29. Ермаков В.Ю., Лебедев В.П. Исследование направленных свойств КВ-антенн по измерениям в ближней зоне, полученным с привлечением БПЛА // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 259–261. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-259.
30. Жмуркина А.Д., Кашапова Л.К. Исследование параметров ускоренных электронов - источников радиовсплесков III типа во время мощной солнечной вспышки // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 27–28. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-27.
31. Зоркальцева О.С., Артамонов М.Ф., Антохина О.Ю., Гочаков А.В. Взаимосвязь вариаций площади вихря и температуры в полярной стратосфере // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E41–E44.
32. Иванова В.А., Подлесный А.В., Поддельский А.И. Вариации наименьших наблюдаемых частот во время рентгеновских солнечных вспышек классов M и X в апреле 2022 г. // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E158–E161.
33. Ивонин В.А., Лебедев В.П. Анализ вариаций мощности радиолокационного сигнала от спутников группировки «STARLINK» по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конферен-

ция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 148–150. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-148.

34. Исаева Е.С., Язев С.А. Майский вспышечный эксцесс 2024 г. // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 31–33. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-31.

35. Ишин А.Б., Воейков С.В., Ишина Т. Анизотропия ионосферных эффектов среднеширотных землетрясений Новой Зеландии и Японии // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E154–E157.

36. Капустин В.Э., Лунюшкин С.Б., Караваев Ю.С., Пенских Ю.В., Мишин В.В. Динамика продольных токов зоны 1 ИИДЖИМЫ-ПОТЕРМЫ в период стационарной магнитосферной конвекции по данным техники инверсии магнитограмм // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 154–156. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-154.

37. Каракотов Р.Р., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А. Анализ солнечной вспышки класса M3.0 по данным микроволнового и ультрафиолетового излучения // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 34–36. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-34.

38. Караханян А.А., Молодых С.И. Отклик тропосферы на солнечное воздействие во время событий 15 июля 2000 года и 20 ноября 2003 года // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E184–E187.

39. Киричков П.Н., Демидов М.Л. Прогнозирование космической погоды и солнечного ветра на основе синоптических карт разных обсерваторий // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 39–40. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-39.

40. Ковалев И.И., Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Сравнительный анализ двух слабых GLE в мае и августе 1998 г. методом спектрографических глобальной съемки // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 44–47. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-44.0.

41. Копылов Е.А., Больбасова Л.А., Шиховцев А.Ю., Потанин С.А., Сачков А.М. Оптическая турбулентность в обсерватории Пик Терскол и на горе Курапдаг // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. B512–B515.

42. Копылов Е.А., Больбасова Л.А., Шиховцев А.Ю., Потанин С.А., Сачков А.М. Астроклимат обсерватории ПИК ТЕРСКОЛ // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 274–276. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-274.

43. Костарев Д.В., Пилипенко В.А., Козырева О.В. Влияние космической погоды на трубопроводы в высоких широтах // Международная Байкальская молодежная научная

школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 160–162. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-160.

44. Кузьмицкий А.В., Кочанов А.А. Кривая поглощения и угловое распределение атмосферных мюонов высоких энергий в водной среде: новый расчет // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 51–53. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-51.

45. Кузьмицкий А.В., Кочанов А.А. Эволюция спектра протонов в солнечной вспышке: случай тонкой и толстой мишени // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 54–56. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-54.

46. Лукьянцев Д.С., Афанасьев Н.Т., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Определение интегральных параметров тонкой структуры ионосферы по данным радиозондирования с геостационарных космических аппаратов // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E102–E105.

47. Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстикова М.В. Корреляционный анализ короткопериодной волновой активности в области мезопаузы и F2-слое ионосферы // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E150–E153.

48. Михайлова О.С., Магер П.Н. Экспериментальное доказательство существования экваториального резонатора для волн диапазона Pc1 в магнитосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 177–179. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-177.

49. Мотык И.Д., Кашапова Л.К. Наблюдение фазы спада белой вспышки в микроволновом диапазоне // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 66–68. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-66.

50. Нечаева А.Б., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н., Анфиногентов С.А. Незатухающие колебания солнечных корональных петель как возможные предвестники вспышек // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 69–70. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-69.

51. Носов В.В., Лукин В.П., Коваadlo П.Г., Носов Е.В., Торгаев А.В. Атмосферная турбулентность в Байкальской астрофизической обсерватории // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. A83–A88.

52. Павлов И.А., Падохин А.М. Восстановление региональных распределений TEC по данным GNSS с использованием модели NeQuick2 и универсального кригинга // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 186–188. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-186.

53. Пархомов В.А., Довбня Б.В., Еселевич В.Г., Родионов А.В. Широотно-долготные закономерности и возможный источник геомагнитных пульсаций типа Pc1s типа Шеврон // Proc. 47th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena". PGI, Apatity, Murmansk Region, Russia, March 11–15, 2024. Apatity, 2024. P. 82–91. DOI: 10.51981/2588-0039.2024.47.018.

54. Перебоева А.А., Сыренова Т. Е., Черткова В.Р., Васильев Р.В. Анализ волновых возмущений в интенсивности 557.7НМ, регистрируемых с помощью камер всего неба НГК ИСЗФ СО РАН // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 189–191. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-189.

55. Петрашук А.В., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Балонная неустойчивость и условия для ее развития в магнитосфере Земли // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 192–193. DOI:10.62955/0135-3748-2024-192.

56. Подлесный С.В., Михалев А.В. Фотометрия ночной атмосферы Земли на основе цветного ПЗС приемника // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 194–195. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-194.

57. Полухина С.А., Кашапова Л.К. Лимбовая вспышка с прерванной эрупцией // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 71–73. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-71.

58. Пономарчук С.Н., Золотухина Н.А. Возмущения ионосферного радиоканала во время магнитных бурь в ноябре - декабре 2023 года // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E63–E68.

59. Распопов К.Р., Едемский И.К. Долгопериодные вариации индексов космической погоды // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 199–200. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-199.

60. Ратовский К.Г., Жеребцов Г.А., Медведева И.В. Два метода оценки тренда ионосферной электронной концентрации по данным иркутских ионозондов вертикального зондирования ионосферы // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E146–E149.

61. Рожкова Д.В., Кашапова Л.К. Создание каталога солнечных вспышек по наблюдениям Сибирского радиогелиографа: первые результаты // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 74–76. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-74.

62. Рубцов А.В., Анфиногентов С.А. Структура коронального выброса массы в межпланетном пространстве: анализ данных IMAGE/EUV // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе

и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 77–79.

63. Саункин А.В., Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Гаврильева Г.А. Исследование влияния внезапных стратосферных потеплений на вариации эмиссионного слоя 557.7 нм над обсерваториями Маймага и Торы // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E192–E198.

64. Саункин А.В., Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Гаврильева Г.А. Исследование влияния внезапных стратосферных потеплений на вариации эмиссионного слоя 557.7 нм над обсерваториями Маймага и Торы // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 204–208. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-204.

65. Серебренникова С.А., Иванова В.А., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Поддельский А.И. Применение новой программы - обработчика ионограмм «IONOVIEW» // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 209–211. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-209.

66. Смотрова Е.Е., Михайлова О.С., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Генерация геомагнитных пульсаций Pc4-5 потоками энергичных частиц в дневной магнитосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 214–216. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-214.

67. Феденёв В.В., Анфиногентов С.А., Лесовой С.В., Глоба М.В. Восстановление магнитоплазменной структуры солнечных активных областей с помощью программного пакета PYAMP // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 93–95. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-93.

68. Черниговская М.А., Ратовский К.Г., Сетов А.Г., Хабитуев Д.С., Калишин А.С., Степанов А.Е., Белинская А.Ю., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А. Долготные неоднородности ионосферной ионизации и их связь с возмущениями термосферного молекулярного газа в северном полушарии во время геомагнитной бури // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXX Международного симпозиума. Санкт-Петербург, 1–5 июля 2024 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2024. С. E130–E133.

69. Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К. Применение машинного обучения для распознавания солнечных вспышек в микроволновом диапазоне // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 96–98. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-96.

70. Шелков А.Д., Артамонов М.Ф. Фотометрическая калибровка интерферометров ФАБРИ-ПЕРО НГК РАН по звездам // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 235–236. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-235.

71. Шелков А.Д., Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Ратовский К.Г. Сопоставление ночных вариаций параметров нейтральной компоненты и концентрации электронов в

верхней атмосфере // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 237. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-237.

72. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Киселев А.В., Леженин А.А. Методы оценки атмосферных характеристик в приложении к наземным астрономическим телескопам // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 297–299. DOI: 10.62955/0135-3748-2024-297.

73. Шубин Д.А., Рубцов А.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Выполнимость условия вмороженности в магнитосферных возмущениях: анализ данных THEMIS-A // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVIII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» Иркутск, 1–7 сентября 2024 г.: труды. Иркутск, 2024. С. 238–240. DOI:10.62955/0135-3748-2024-238.

5.8. Тезисы докладов на российских конференциях

1. Алтынцев А.Т., Глоба М.В., Мешалкина Н.С., Сыч Р.А. Наблюдения корональных дыр на Сибирском Радиогелиографе // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 57.

2. Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С. Микровыбросы солнечной плазмы в микроволновом излучении // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2024». 1–5 июля 2024 г., КраО РАН (Научный): тезисы докладов. 2024.

3. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Белан Б.Д., Зоркальцева О.С., Артамонов М.Ф. Событийный анализ аномалий циркуляционного режима в феврале 2024: процессы тропосферно-стратосферного взаимодействия и результаты самолетного зондирования // Всероссийская конференция, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». ИФА им. А.М. Обухова, Москва, 19–21 ноября 2024 г.: тезисы докладов. М.: Физматкнига, 2024. С. 60.

4. Анфиногентов С.А. Квазипериодические пульсации микроволнового излучения, сопровождающиеся квазипериодическими быстрыми волновыми пакетами // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 46.

5. Белюченко К.В., Клименко М.В., Ратовский К.Г., Клименко В.В. Влияние термосферы на ионосферный отклик во время геомагнитной бури // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2024»), посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН. 27–31 мая 2024 г. Москва, Троицк: тезисы докладов. Москва, 2024. С. 54.

6. Богачев С.А., Кузин С.В., Перцов А.А., Кириченко А.С. Измерения рентгеновского излучения солнца с использованием космического аппарата типа кубсат // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 98.

7. Головкин А.А., Салахутдинова И.И. Особенности поля скоростей в активной области 12673, связанные со вспышками 6 сентября 2017 г. // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 94.

8. Головкин А.А. Изменения дисбаланса магнитного потока в активных областях в связи со вспышками // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизи-

ческих процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2024»), посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН. 27–31 мая 2024 г. Москва, Троицк: тезисы докладов. Москва, 2024. С. 16.

9. Головкин А.А. Управляющие параметры эволюции солнечных активных областей // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 46.

10. Грач С.М., Белецкий А.Б., Ткачев И.Д., Насыров И.А., Шиндин А.В. Результаты фотометрических измерений искусственного оптического свечения ионосферы в линиях 557.7 нм и 391.4 нм на стенде СУРА // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 202.

11. Горюнова В.Д., Анфиногентов С.А. Признаки предвспышечного состояния солнечных активных областей в микроволновом излучении // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 103.

12. Демидов М.Л. О влиянии не только пространственной структуры, но и напряженности крупномасштабных магнитных полей Солнца на точность прогноза скорости солнечного ветра // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2024»), посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН. 27–31 мая 2024 г. Москва, Троицк: тезисы докл. Москва, 2024. С. 136.

13. Демидов М.Л. Проблема неопределенности измерений магнитных полей Солнца и, как следствие, прогноза космической погоды // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2024». 1–5 июля 2024 г., КрАО РАН (Научный): тезисы докл. 2024.

14. Демидов М.Л. Проблема открытого магнитного потока в контексте особенностей наблюдений магнитных полей Солнца в различных спектральных линиях // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 164.

15. Дрига М.Б., Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Автоматическая локализация субапертур на гартманограмме с применением метода Джона-Кэнни // XXXI рабочая группа «Аэрозоли Сибири» 26–29 ноября 2024 г., Томск: тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2024.

16. Еселевич М.В., Караваев Ю.С., Коробцев И.В., Мишина М.Н., Горяшин В.Е. Фотометрический мониторинг космических объектов на средневысотных орбитах // Научно-практическая конференция «Результаты обоснования проектного облика системы информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности в околоземном космическом пространстве «Млечный путь», 30–31 января 2024 г., Москва: программа. Москва, 2024.

17. Загайнова Ю.С., Громов С.В., Громова Л.И., Файнштейн В.Г. Особенности изучения внезапного начала магнитной бури по данным с секундным временным разрешением // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2024»), посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН. 27–31 мая 2024 г. Москва, Троицк: тезисы докл. Москва, 2024. С. 95.

18. Загайнова Ю.С., Обридко В.Н., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В. О некоторых особенностях эволюции магнитного комплекса активности, включающего АО NOAA 11944 и NOAA 11946, при его прохождении по диску Солнца // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 52.

19. Зимовец И.В., Койнаш Г.В., Шарыкин И.Н., Иванов Е.Ф., Киселев В.И., Низамов Б.А. Многоволновые наблюдения квазипериодических пульсаций в импульсной солнечной вспышке C2.8 класса // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 53.
20. Каракотов Р.Р., Анфиногентов С.А., Кузнецов А.А. Исследование медленных волн в корональных структурах по данным наблюдений SDO/AIA // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 63.
21. Кашапова Л.К., Полухина С.А., Мотык И.Д. О возможных механизмах генерации излучения во время длительной фазы спада слабой вспышки // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 88.
22. Кашапова Л.К. Радиоизлучение солнечных вспышек // Конференция к 100-летию со дня открытия вспыхивающих красных карликов «Звёзды с активностью солнечного типа – исследования последних лет». 26–27 февраля 2024 г., Научный, Крым: тезисы докл. Научный, 2024. С. 8.
23. Кашапова Л.К., Жмуркина А.Д., Шамсутдинова Ю.Н. Поиск места первичного энерговыделения солнечной вспышки по наблюдениям в радио и рентгеновском диапазонах // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2024». 1–5 июля 2024 г., КрАО РАН (Научный): тезисы докл. 2024.
24. Кашапова Л.К., Жмуркина А.Д., Шамсутдинова Ю.Н. Место первичного энерговыделения и радиовсплески III типа во время начала мощной солнечной вспышки // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 55.
25. Кашапова Л.К., Шамсутдинова Ю.Н., Рожкова Д.В. Распознавание солнечных вспышек в наблюдениях микроволнового излучения с помощью машинного обучения // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 172.
26. Кашапова Л.К., Шамсутдинова Ю.Н. Особенности процессов энерговыделения компактной солнечной вспышки // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 172.
27. Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г., Белюченко К.В., Веснин А.М. Влияние момента начала геомагнитной бури на ее ионосферные эффекты // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 219.
28. Климущкин Д.Ю., Магер П.Н. Альфвеновские волны в реалистичных моделях магнитосферы: памяти Анатолия Сергеевича Леоновича // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 8.
29. Коваadlo П.Г., Шиховцев А.Ю. Микроструктура турбулентности в нижнем слое атмосферы // Всероссийская конференция, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». ИФА им. А.М. Обухова, Москва, 19–21 ноября 2024 г.: тезисы докл. М.: Физматкнига, 2024. С. 184.
30. Ковалев И.И., Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Спектры вариаций и анизотропия космических лучей в периоды Форбуш-эффектов в марте 2023 г. // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 121.

31. Ковалев И.И., Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Оценка магнитосферных и атмосферных параметров в период геомагнитной бури в марте 2023 г. по эффектам в космических лучах // 38-я Всероссийская конференция по космическим лучам. 1–5 июля 2024. ИЯИ РАН, ФИАН, Москва: тезисы докл. Москва, 2024. С. 114.
32. Ковалев И.И., Кравцова М.В., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. GLE73 (28 октября 2021 г.) – первое событие в 25-м цикле солнечной активности: спектры и анизотропия // 38 Всероссийская конференция по космическим лучам. 1–5 июля 2024. ИЯИ РАН, ФИАН, Москва: тезисы докл. Москва, 2024. С. 155.
33. Когогин Д.А., Емельянов В.В., Максимов Д.С., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Шиндин А.В., Грач С.М., Загретдинов Р.В. Исследование возмущенной УНУ стэнд СУРА области ионосферы по данным совместного анализа снимков ночного неба в линии 630 нм и карт вариаций полного электронного содержания в экспериментах 2021–2023 гг. // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 211.
34. Когогин Д.А., Емельянов В.В., Максимов Д.С., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Шиндин А.В., Грач С.М., Загретдинов Р.В. Совместный анализ синхронных пар снимков ночного неба и карт вариаций полного электронного содержания по данным экспериментов, проведенных на УНУ стэнд СУРА в 2021–2023 гг. // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2024»), посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН. 27–31 мая 2024 г. Москва, Троицк: тезисы докл. Москва, 2024. С. 64.
35. Копылов Е.А., Большасова Л.А., Потанин С.А., Шиховцев А.Ю. Первые измерения качества атмосферных изображений в потенциальных местах расположения новых телескопов // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 248.
36. Копылов Е.А., Потанин С.А., Шиховцев А.Ю., Большасова Л.А. Астроклимат обсерватории Терскол // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 249.
37. Кудрявцева А.В., Мышьяков И.И., Анфиногентов С.А., Дашинимаева С.А. Источник над нейтральной линией в солнечной вспышке 23 марта 2024 года // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 125.
38. Кузин С.В. Двухкоординатные детекторы для регистрации изображений в коротковолновом диапазоне спектра с высоким разрешением на основе ПЗС и КМОП матриц // Научная школа «Современная рентгеновская оптика». Нижний Новгород, 23–26 сентября 2024 г.: программа. Нижний Новгород, 2024.
39. Кузин С.В. Аппаратура для гелиогеофизических исследований и прогноза космической погоды для МКА // Конференция «Малые космические аппараты: научный, технический, прикладной и образовательный аспекты». Санкт-Петербург, 25 января 2024 г.: программа. Санкт-Петербург, 2024.
40. Кузин С.В., Богачев С.А., Лобода И.П., Кириченко А.С., Рева А.А., Перцов А.А., Дятков С.Ю. Комплекс аппаратуры для мониторинга солнечной активности из точки L1 // Научно-практическая конференция «Результаты обоснования проектного облика системы информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности в околоземном космическом пространстве «Млечный путь», 30–31 января 2024 г., Москва: программа. Москва, 2024.
41. Кузнецов А.А., Wu Zh., Анфиногентов С.А. Энерговыделение и ускорение частиц в солнечной вспышке 6 марта 2023 г. // Девятнадцатая ежегодная конференция «Фи-

зика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 93.

42. Кузнецов А.А. Многоволновые наблюдения звёздных супервспышек: соотношения между тепловым и нетепловым излучением // Конференция к 100-летию со дня открытия вспыхивающих красных карликов «Звёзды с активностью солнечного типа – исследования последних лет». 26–27 февраля 2024 г., Научный, Крым: тезисы докл. Научный, 2024. С. 12.

43. Купряков Ю.А., Бычков К.В., Белова О.М., Горшков А.Б., Малютин В.А., Кашапова Л.К., Kotrč P. Наблюдение, теоретический расчет и анализ вспышки SOL2012-05-11// Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 90.

44. Куркин В.И., Софьин А.В. Evaluation of characteristics of medium-scale travelling ionospheric disturbances based on the data of oblique ionospheric sounding // IX Микроволновая конференция, 24–29 ноября 2024 г., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва: программа. 2024.

45. Лебедев В.П., Кушнарев Д.С., Сетов А.Г., Ойнац А.В., Ивонин В.А., Громик Н.А. Развитие диагностических возможностей иркутского радара некогерентного рассеяния для решения задач контроля космических аппаратов // IX Репинские чтения – 2024. «Современные проблемы развития систем РКО». Москва, 18–19 апреля 2024 г.: программа научно-технической конференции ПАО «МАК «Вымпел». Москва, 2024.

46. Лебедев В.П., Кушнарев Д.С., Сетов А.Г., Алсаткин С.С., Ивонин В.А., Ойнац А.В. Диагностические возможности наблюдения низкоорбитальных космических объектов на Иркутском радаре некогерентного рассеяния ИСЗФ СО РАН // Научно-практическая конференция «Результаты обоснования проектного облика системы информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности в околоземном космическом пространстве «Млечный путь», 30–31 января 2024 г., Москва: программа. Москва, 2024.

47. Лесовой С.В., Глоба М.В., Иванов Е.Ф. Наблюдение всплесков когерентного микроволнового излучения Солнца с пространственным и спектральным разрешением // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 179.

48. Лукин В.П., Больбасова Л.А., Шиховцев А.Ю. Переход от многоконтурных систем адаптивной оптики для солнечных телескопов к мультисопряженным // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 249.

49. Лысенко А.Л., Кашапова Л.К., Свинкин Д.С. Стерескопические наблюдения залимбовых солнечных вспышек, зарегистрированных в эксперименте Korus-Wind в 1994–2024 гг. // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 180.

50. Медведев А.В. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН – кластер уникальных инструментов для контроля околоземного космического пространства // IX Репинские чтения – 2024. «Современные проблемы развития систем РКО». Москва, 18–19 апреля 2024 г.: программа научно-технической конференции ПАО «МАК «Вымпел». Москва, 2024.

51. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Межгодовые вариации температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации в 24-м солнечном цикле по данным измерений на комплексе инструментов // Динамические процессы в средней и верхней атмосфере: тезисы докл. Всероссийской конференции «Динамические процессы в средней и верхней атмосфере», 28–31 августа 2024 г. Якутск. Якутск: ИКФИА СО РАН, 2024. С. 19–20.

52. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование межгодовых вариаций температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации над Восточной Сибирью // Всероссийская конференция, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». ИФА им. А.М. Обухова, Москва, 19–21 ноября 2024 г.: тезисы докл. М.: Физматкнига, 2024. С. 88.
53. Мельников В.Ф., Мешалкина Н.С. Динамика размеров вспышечных петель // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 80.
54. Мельников В.Ф., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А., Ву Ж., Чень Я. Пространственные и спектральные характеристики источника микроволнового излучения во вспышке 9 мая 2023 г. по данным Сибирского радиогелиографа // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 года, Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 62.
55. Михайлова О.С., Магер П.Н. Экспериментальное подтверждение существования приэкваториального резонатора для магнитосферных ионно-ионных гибридных мод // II Всероссийская школа Национального центра физики и математики по экспериментальной лабораторной астрофизике и геофизике для студентов и молодых ученых. Саров, 1–5 июля 2024 г.: тезисы докл. Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2024. С. 50–51.
56. Mikhailova O.S., Mager P. The first experimental confirmation of the existence of a near-equatorial resonator for ion-ion hybrid modes in the magnetosphere // XV Школа-конференция с международным участием «Проблемы геокосмоса – 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. СТ. GC2024-STR031.
57. Мешалкина Н.С., Алтынцев А.Т. Проявления нагрева в начале вспышки 29 июня 2012 // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 89.
58. Мотык И.Д. Энерговыделение на фазе спада солнечных вспышек // Конференция к 100-летию со дня открытия вспыхивающих красных карликов «Звезды с активностью солнечного типа – исследования последних лет». 26–27 февраля 2024 г., Научный, Крым: тезисы докл. Научный, 2024. С. 15.
59. Мотык И.Д., Кашапова Л.К. Микроволновое наблюдение пост-эруптивной аркады во время фазы спада белой вспышки // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2024». 1–5 июля 2024 г., КРАО РАН (Научный): тезисы докл. 2024.
60. Мотык И.Д., Кашапова Л.К., Рожкова Д.В. Реконструкция и анализ микроволновых временных профилей вспышек Солнца как звезды // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 135.
61. Мотык И.Д., Кашапова Л.К., Рожкова Д.В. Морфология средних временных профилей солнечных вспышек в микроволновом диапазоне // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 181.
62. Нечаева А.Б., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н., Анфиногентов С.А. Незатухающие колебания солнечных корональных петель как возможные предвестники мощных вспышек // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 29.
63. Носов В.В., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Носов В.Е., Торгаев А.В. Результаты измерений астроклиматических характеристик в Байкальской астрофизической обсерватории // XXXI рабочая группа «Аэрозоли Сибири» 26–29 ноября 2024 г., Томск: тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2024.

64. Носов В.В., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Носов Е.В., Торгаев А.В. Доказательство гипотезы Хопфа о структуре турбулентности // Всероссийская конференция, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». ИФА им. А.М. Обухова, Москва, 19–21 ноября 2024 г.: тезисы докл. М.: Физматкнига, 2024. С. 25.
65. Ойнац А.В. Мониторинг ионосферных неоднородностей по данным сети КВ-радаров // IX Репинские чтения – 2024. «Современные проблемы развития систем РКО». Москва, 18–19 апреля 2024 г.: программа научно-технической конференции ПАО «МАК «Вымпел». Москва, 2024.
66. Ойнац А.В., Клименко М.В., Клименко В.В., Шубин В.Н. Сопоставление наблюдений обратного ионосферного рассеяния по данным КВ-радаров с моделями ионосферы // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2024»), посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН. 27–31 мая 2024 г., Москва, Троицк: тезисы докл. Москва, 2024. С. 73.
67. Падохин А.М., Илюшин Я.А., Павлов И.А., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Киселев А.В. MOSGIM2: Свободное ПО для построения глобальных ионосферных карт ТЕС и оценки ГЕС // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 213.
68. Падохин А.М., Андреева Е.С., Павлов И.А., Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Киселев А.В. MOSGIM2: свободное ПО для построения глобальных ионосферных карт ТЕС и оценки ГЕС // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2024»), посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН. 27–31 мая 2024 г., Москва, Троицк: тезисы докл. Москва, 2024. С. 75.
69. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Довбня Б.В. Магнитосферный отклик на взаимодействие с диамагнитной структурой солнечного ветра при больших значениях северной компоненты ММП в геомагнитных пульсациях типа Pc1s // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 189.
70. Перевалова Н.П., Ратовский К.Г., Ясюкевич А.С., Медведева И.В. Корреляция волновых возмущений в верхней атмосфере // Динамические процессы в средней и верхней атмосфере : сборник тезисов тезисов докладов Всероссийской конференции «Динамические процессы в средней и верхней атмосфере», 28–31 августа 2024 г. Якутск. Якутск: ИКФИА СО РАН, 2024. С. 42–43.
71. Перевалова Н.П., Добрынина А.А., Саньков В.А. Некоторые эффекты сейсмических процессов в атмосфере Земли // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический аспект: тезисы докладов Всероссийской конференции, посвященной 75-летию ИЗК СО РАН, 45-летию лаборатории тектонофизики, 90-летию со дня рождения профессора С.И. Шермана. Иркутск, 16–21 сентября 2024 г. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2024. С. 84–85.
72. Пипин В.В. Параметры генерации полоидального поля Солнца по данным наблюдений и моделей динамо // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 16.
73. Подлесный С.В., Девятова Е.В., Саункин А.В. Сопоставление методов определения облачного покрова над Байкальской природной территорией // XXXI рабочая группа «Аэрозоли Сибири» 26–29 ноября 2024 г., Томск: тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2024.
74. Полухина С.А., Кашапова Л.К. Прерванная эрупция, связанная с лимбовой вспышкой // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2024». 1–5 июля 2024 г., КРАО РАН (Научный): тезисы докл. 2024.

75. Полухина С.А., Кашапова Л.К. Исследование свойств источника энерговыделения круговой вспышки по данным микроволновых наблюдений // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 года, Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 68.
76. Пономарчук С.Н., Золотухина Н.А. Эффекты в распространении КВ радиоволн во время геомагнитных бурь в ноябре-декабре 2023 г. // IX Микроволновая конференция, 24–29 ноября 2024 г., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва: программа. 2024.
77. Пономарчук С.Н., Грозов В.П. Прогнозирование КВ радиоканала по данным возвратно-наклонного зондирования ионосферы // IX Микроволновая конференция, 24–29 ноября 2024 г., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва: программа. 2024.
78. Потапов А.С. ИАР на средних и высоких широтах: синхронные наблюдения // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 254.
79. Ратовский К.Г. Изменение ионосферного климата над Восточной Сибирью по данным длительных измерений электронной концентрации в ионосфере // Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов V Всероссийской научной конференции с международным участием, Южно-Сахалинск, 27–31 мая 2024 г. Южно-Сахалинск: Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2024. С. 119.
80. Рожкова Д.В., Кашапова Л.К. Каталог солнечных вспышек по наблюдениям Сибирского радиогелиографа // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 70.
81. Рубцов А.В., Анфиногентов С.А. Наблюдение изолированных силовых трубок в плазмосфере Земли по данным спутника IMAGE на длине волны 304 Å // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 179.
82. Рубцов А.В., Yamamoto K., Костарев Д.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Возбуждение УНЧ-волны инверсной неустойчивостью протонов по наблюдениям спутника ARASE // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 347.
83. Смотрова Е.Е., Михайлова О.С., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Резонансные взаимодействия УНЧ-волн с потоками протонов и электронов // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 348.
84. Феденёв В.В., Лесовой С.В. Статистический анализ спектров гирорезонансного излучения солнечных активных областей по данным Сибирского радиогелиографа // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 29.
85. Хайкин В.Б., Шиховцев А.Ю., Копылов Е.А., Потанин С.А., Худченко А.В. Обзор астроклиматических условий возможных мест размещения Евразийских СубММ телескопов (ESMT) // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 258.
86. Цедрик М.В., Подлесный А.В. Ионозонд вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным сигналом с линейной частотной модуляцией // II Всероссийская школа Национального центра физики и математики по экспериментальной лабораторной астрофизике и геофизике для студентов и молодых ученых. Саров, 1–5 июля 2024 г.: тезисы докл. Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2024. С. 78.
87. Челпанов М.А., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Нерезонансное взаимодействие электронов и УНЧ-волн // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Сол-

нечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 360.

88. Челпанов А.А., Кобанов Н.И. Трёхминутные колебания с полутени и суперполутени солнечных пятен. Проявления звуковых или альвеновских волн? // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2024». 1–5 июля 2024 г., КраО РАН (Научный): тезисы докл. 2024.

89. Челпанов А.А. Колебания в полутени и суперполутени солнечных пятен // II Всероссийская школа Национального центра физики и математики по экспериментальной лабораторной астрофизике и геофизике для студентов и молодых ученых. Саров, 1–5 июля 2024 г.: тезисы докл. Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2024. С. 81.

90. Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К. Применение машинного обучения для распознавания солнечной вспышки в микроволновом диапазоне // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 74.

91. Шамсутдинова Ю.Н., Ли Д., Кашапова Л.К., Су Я. Пространственная и спектральная эволюция источников микроволнового и рентгеновского излучения во время лимбовой вспышки 5 февраля 2023 г. // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 91.

92. Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К., Ли Д., Су Я. Пространственная и спектральная эволюция источников микроволнового и рентгеновского излучения во время солнечной вспышки на лимбе 5 февраля 2023 г. // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2024». 1–5 июля 2024 г., КраО РАН (Научный): тезисы докл. 2024.

93. Шамсутдинова Ю.Н., Рожкова Д.В., Кашапова Л.К., Губин А.В. Использование методов машинного обучения для создания каталога солнечных вспышек по наблюдениям на Сибирском радиогелиографе // Солнечная и солнечно-земная физика – 2024. XXVIII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 7–11 октября 2024 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: тезисы докл. Санкт-Петербург: ГАО РАН, 2024. С. 56.

94. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Дрига М.Б. Комбинированный метод расчета вертикальных профилей структурной характеристики флуктуаций показателя преломления атмосферы // XXXI рабочая группа «Аэрозоли Сибири» 26–29 ноября 2024 г., Томск: тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2024.

95. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Леженин А.А., Градов В.С. Применение модели WRF для описания атмосферных характеристик: регион расположения специальной астрофизической обсерватории // XXXI рабочая группа «Аэрозоли Сибири» 26–29 ноября 2024 г., Томск: тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2024.

96. Шиховцев А.Ю., Хайкин В.Б. Современные методы исследования астроклимата астрономических обсерваторий и потенциальных мест размещения телескопов // Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр». 25–31 августа 2024 г., САО РАН п. Нижний Архыз: тезисы докл. Нижний Архыз, 2024. С. 262.

97. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г. Особенности параметризаций турбулентных характеристик: данные оптических и микрометеорологических измерений // Всероссийская конференция, посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». ИФА им. А.М. Обухова, Москва, 19–21 ноября 2024 г.: тезисы докл. М.: Физматкнига, 2024. С. 37.

98. Шубин Д.А., Рубцов А.В., Климушкин Д.Ю. Наблюдения долгоживущих УНЧ-волн в магнитосфере Земли по данным спутников миссии THEMIS // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 5–9 февраля 2024 г., ИКИ РАН, Москва: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 359.

99. Шубин Д.А., Рубцов А.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Выполнимость условия вмороженности в магнитосферных возмущениях: анализ данных THEMIS-A // II Все-

российская школа Национального центра физики и математики по экспериментальной лабораторной астрофизике и геофизике для студентов и молодых ученых. Саров, 1–5 июля 2024 г.: тезисы докл. Саров ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2024. С. 85.

100. Язев С.А., Исаева Е.С., Иванов К.И., Томозов В.М., Хос-Эрдэнэ Б. Сравнительные характеристики 24 и 25 циклов солнечной активности на первых 50 месяцах развития // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2024»), посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН. 27–31 мая 2024 г., Москва, Троицк: тезисы докл. Москва, 2024. С. 38.

101. Ясюкевич Ю.В. Комплекс экспериментальных средств ИСЗФ СО РАН для мониторинга и прогноза космической погоды // Научно-практическая конференция «Результаты обоснования проектного облика системы информационно-аналитического обеспечения безопасности космической деятельности в околоземном космическом пространстве «Млечный путь», 30–31 января 2024 г., Москва: программа. Москва, 2024.

102. Ясюкевич Ю.В., Быков А.Е., Салимов Б.Г. Прогнозирование глобального распределения полного электронного содержания с использованием машинного обучения // Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2024»), посвященный 300-летию Российской академии наук, 85-летию ИЗМИРАН и 60-летию Калининградского отделения ИЗМИРАН. 27–31 мая 2024 г., Москва, Троицк: тезисы докл. Москва, 2024. С. 85.

5.9. Тезисы докладов на международных конференциях

1. Adhitya P., Bulusu J., Vichare G., Shiokawa K., Potapov A.S., Poddelsky A.I., Smirnov S., Mann I. Characteristics of Pc1 wave ducted to very low latitude // AGU 2024. Washington, D.C., 9–13 December 2024: Abstracts. 2024.

2. Altyntsev A.T., Meshalkina N.S. Propagation of hot electrons in jets in the June 29, 2012 event // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 15–16.

3. Anfinogentov S. Multi-wavelength analysis of unusually short microwave burst preceding a solar flare // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 10.

4. Bashkirtsev V.S., Mashnich G.P. Forecast of the course of solar activity in the 21st century // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 15.

5. Beletsky A.B., Mikhalev A.V., Syrenova T., Vasilyev R.V., Tkachev I. Mid-latitude auroras with data from optical instruments of the National heliogeophysical complex // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 31.

6. Belyuchenko K.V., Klimenko M., Ratovsky K.G., Vesnin A.M., Klimenko V.V. Identification of spatial area that gives main contribution to positive storm-time response in high-latitude regional electron content // XV Школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса — 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. СТ. GC2024-STP063.

7. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Three-minute oscillations in sunspot's superpenumbrae. Alfvénic or sound? // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 10–11.

8. Chelpanov M., Klimushkin D., Mager P. Observations of a magnetospheric wave generated by a moving plasma inhomogeneity // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 22.

9. Chernyshov A.A., Napaev M.V., Chugunin D.V., Anfinogentov S., Kozelov B. On the possibility of applying the motion magnification method to study polar auroras // The 47th An-

- nual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 73.
10. Demidov M.L. On the origin of the open magnetic flux problem in heliosphere // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 11.
 11. Demidov M.L. On the improvement of the WSA-based solar wind speed predictions // Seminar on the Development of Actual Measurement of Solar Physics: Observation and Operation Experience. Exchange Meeting for the 40th Anniversary of HSOS. Beijing, 22–26 October, 2024: Abstracts. 2024.
 12. Demyanov V.V., Danilchuk E.I., Yasyukevich Yu.V. GNSS data of high time rate: new opportunities to look deeper inside the ionosphere // AOGS 2024. 21st Annual Meeting. Pyeongchang, June 23–28, 2024: Abstracts. 2024. IG11-A012.
 13. Edemskiy I.K. The influence of the description of the neutral atmosphere on the results of modeling the effects of the February 2022 magnetic storm // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 31–32.
 14. Egorov Ya.I. F10.7 index forecasting using the deep-learning N-HiTS model // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 11.
 15. Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. Forerunners and effects of powerfull solar flares in active region 12673 in September, 2017 // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 12.
 16. Isaeva E.S., Tomozov V.M., Yazev S.A. North-south asymmetry of solar activity on the growth branch of cycle 25 // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 12–13.
 17. Ivanov E.F., Lesovoi S.V. The new radio spectropolarimeters for solar activity observations // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 44.
 18. Ivanova V.A., Ponomarchuk S.N., Tashchilin A.V., Podlesnyi A.V., Lyakhov A.N., Poddelsky A.I. Variations in chirp signal characteristics during X-ray solar flares: experiment and modeling // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 32.
 19. Kapustin V.E., Lunyushkin S.B., Karavaev Yu.A., Penskiikh Yu., Mishin V.V. Dynamics of field-aligned currents in the Iijima-Potterma region 1 during the period of stationary magnetospheric convection from the magnetogram inversion technique // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 23.
 20. Karak B.B., Vashishth V., Kitchatinov L.L. Dynamo modelling for cycle variability and occurrence of grand minima in different solar-type stars // Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposium, Nagoya University, Nagoya, Japan (Fully on-site meeting), October 1-4, 2024 : Abstracts. 2024. P. 17.
 21. Kashapova L.K. A site of initial energy release and type III radio bursts during the onset of a powerful solar flare // The 6th Asia Pacific Solar Physics Meeting (APSPM). Guangzhou, China, 11–15 November, 2024: Programme. 2024.
 22. Khabituev D.S., Zorkaltseva O.S. Impact of the lunar gravitational tide on dynamical processes in the upper stratosphere based on ERA-5 reanalysis data // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 33.
 23. Khabituev D.S., Ivonin V.A., Lebedev V.P. Features of determining the electron density profile, plasmasphere electron content and transition height at Irkutsk incoherent scatter radar // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 33.

24. Kiselev V., Grechnev V.V., Uralov A.M., Meshalkina N.S., Firoz K.A., Lysenko A. Mysteries of the 17 May 2012 solar event responsible for GLE71: CME and shock wave development and statistical hints from the spectra of near-Earth protons // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 13.
25. Kitiashvili I., Wang V., Vu M., Foy A., Fischer Z., Ngo A., Suresh H., Pipin V.V., Ranjan S., Spaulding R., Deardorff D. Global solar activity data portal for long-term forecasts // Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposium, Nagoya University, Nagoya, Japan (Fully on-site Meeting), October 1–4, 2024: Abstracts. 2024. P. 38.
26. Klibanova Y., Mishin V.V., Marchuk R., Mikhalev A.V., Penskiikh Yu. Midlatitude bursts of PiB geomagnetic pulsations and night airglow during stormtime sawtooth events // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 24.
27. Klimenko M., Klimenko V.V., Bessarab F.S., Divin A.V., Ratovsky K.G., Oinats A.V., Vasilyev R.V., Belyuchenko K.V., Rozanov E.V. Validation of first-principle models results of the different scale ionospheric phenomena at high- and mid-latitude // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 79.
28. Klimenko M., Klimenko V.V., Ratovsky K.G., Vesnin A.M., Dmitriev A. Low- and mid-latitude F region ionospheric response to geomagnetic storms and after-storm effects // COSPAR-2024 45th Scientific Assembly. July 13–23, 2024. BEXCO, Busan, Korea: Abstracts. 2024. CT. C1.1-0034-24.
29. Klimushkin D., Mager P. The mach cone in inhomogeneous magnetosphere: fast magnetoacoustic mode generation by the solar wind oblique impulse on the magnetopause // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 24.
30. Kochanov A.A., Grechnev V.V., Uralov A.M., Kiselev V., Globa M.V., Lesovoi S.V. Manifestations of accelerated electrons and protons in the 20 January 2022 major solar flare observed with Fermi and the Siberian radioheliograph // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 14.
31. Kolobov D.Y. National heliogeophysical complex of RAS: Large Solar Telescope opportunities for solving fundamental problems of solar physics // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 5–6.
32. Kosovichev A.G., Pipin V.V. Potential for helioseismic predictions of the solar cycles // AGU 2024. Washington, D.C., 9–13 December 2024: Abstracts. 2024.
33. Kosovichev A.G., Getling A.V., Mandal K., Pipin V.V. Insights into the solar dynamo and activity cycles from helioseismology // Joint Symposium of Space Climate 9 Symposium and ISEE Symposium, Nagoya University, Nagoya, Japan (Fully on-site Meeting), October 1–4, 2024: Abstracts. 2024. P. 2.
34. Kosovichev A.G., Getling A.V., Mandal K., Pipin V.V. Effects of the Solar Dynamo on the Differential Rotation and Meridional Circulation // XXXII IAU General Assembly (IAUGA 2024), Capetown, South Africa, 6–15 August, 2024: Abstracts. 2024.
35. Kostarev D.V. Impact of space weather on pipelines in high latitude regions // XV школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса – 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. СТ. GC2024-STP020.
36. Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu. Climate change and its impact on atmospheric characteristics along 120 E meridian // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 44–45.

37. Kravtsova M., Kovalev I.I., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Cosmic rays as a tool for heliosphere, magnetosphere and atmosphere monitoring // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 14.
38. Kudriavtseva A., Myshyakov I.I., Anfinogentov S., Dashinimaeva S. Neutral line associated sources in sympathetic flare on 23 March, 2024 // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 15.
39. Kuznetsov A.A. Energy release and particle acceleration in the 25th cycle solar flares: joint observations with new russian and chinese instruments // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 6.
40. Lebedev V.P., Ding Z. Methods for effective joint observation of space debris using EISCAT, UJING and Irkutsk radars // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 33–34.
41. Lesovoi S.V. Siberian radioheliograph - new opportunities for studying the solar corona // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 9.
42. Lesovoi S.V. Siberian Radioheliograph // The 6th Asia Pacific Solar Physics Meeting (APSPM). Guangzhou, China, 11–15 November, 2024: Programme. 2024.
43. Mandal K., Kosovichev A.G., Pipin V.V. Helioseismic Properties of Dynamo Waves in Solar Zonal Flow // Triennial Earth-Sun Summit (TESS), 7–12 April 2024, Dallas, TX: Abstracts. 2024. CT. 301-02.
44. Mandal K., Kosovichev A.G., Pipin V.V. Unveiling Dynamo Waves in the Sun: a Helioseismic Approach // XXXII IAU General Assembly (IAUGA 2024), Capetown, South Africa, 6–15 August, 2024: Abstracts. 2024.
45. Marchuk R., Klibanova Y., Mishin V.V., Pensikh Yu. Geomagnetic dynamics during super substorms // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 20.
46. Marchuk R., Mishin V.V., Klibanova Y., Pensikh Yu., Mikhalev A.V. Features of development of geomagnetic activity and night sky airglow at mid-latitudes during the 20 Dec 2015 storm // XV Школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса — 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. CT. GC2024-STP057.
47. Marchuk R., Mishin V.V., Pensikh Yu., Klibanova Y., Mikhalev A.V. PiB and airglow bursts during strong storm-time geomagnetic disturbances // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 25.
48. Marchuk R., Mishin V.V. Timing of geomagnetic activations by PiB type pulsations // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 25.
49. Medvedev A.V. China-Russia Joint Research Center on space weather: 24 years of cooperation // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 3–4.
50. Medvedev A.V. National heliogeophysical complex of RAS: Radiophysical complex for ionospheric and atmospheric research // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 7.
51. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Long-term variations in characteristics of upper neutral atmosphere and ionosphere from spectrometric and radio sounding measurements // XV школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса – 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. CT. GC2024-STP029.
52. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Long-term variations in temperature in mesopause region and F2-region peak electron density over Eastern Siberia // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 34.

53. Mikhailova O.S., Mager P., Klimushkin D. Near-equatorial resonator for ion-ion hybrid modes in the magnetosphere: a Van Allen probe case study of PC1 pearl pulsations // COSPAR 2024 45th Scientific Assembly. July 13–23, 2024. BEXCO, Busan, Korea: Abstracts. 2024. CT. D3.8-0007-24.
54. Mikhailova O.S., Mager P. Experimental confirmation of the existence of a near-equatorial resonator for magnetospheric ion-ion hybrid modes // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 25–26.
55. Mishin V.V., Marchuk R., Penskiikh Yu., Klivanova Y., Mikhalev A.V. Features of geomagnetic disturbance dynamics and of airglow during the 2015 Dec 20 magnetospheric storm // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 21.
56. Mishin V.V., Marchuk R., Penskiikh Yu. Substorm effects on the storm-time *Dst* variation // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 26.
57. Myshyakov I.I., Anfinogentov S., Uralov A.M. Study of the microwave source positioning as a possible prediction pattern of major solar flares // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 16.
58. Oinats A.V. Study of ionospheric irregularities based on HF radar network data // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 34.
59. Padokhin A., Andreeva E.S., Nazarenko M.O., Pavlov I., Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M., Kiselev A.V. MosGIM2: open source code for multi-GNSS dual-layer global ionospheric TEC mapping and GEC estimation // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 82.
60. Padokhin A., Andreeva E.S., Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M. MOSGIM2: open source code for multi-GNSS dual-layer global ionospheric TEC mapping and GEC estimation // COSPAR 2024 45th Scientific Assembly. July 13–23, 2024. BEXCO, Busan, Korea: Abstracts. 2024. CT. C0.2-0003-24.
61. Penskiikh Yu., Kapustin V.E. Algorithm for determining auroral oval boundaries based on various manifestations of auroral activity // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 27.
62. Perevalova N.P., Dobrynina A., Shestakov N., Meng G., Wu W., Sankov V. Analysis of seismic and ionospheric disturbances generated by the explosion in North Korea on September 3, 2017 // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 35.
63. Petrashchuk A.V., Klimushkin D., Mager P. Numerical analysis of ballooning modes in Earth’s magnetosphere and their connections with MHD oscillation branches // XV школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса — 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. СТ. GC2024-STP025.
64. Petrashchuk A.V., Klimushkin D., Mager P. On the dispersion properties of coupled Alfvén and slow waves in two-dimensionally inhomogeneous model of the magnetosphere // XV школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса — 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. СТ. GC2024-STP027.
65. Polukhina S., Kashapova L.K. Limb Flare with Failed Eruption // XV школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса — 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. СТ. GC2024-STP045. <https://events.spbu.ru/events/geocosmos-2024>.
66. Potapov A.S., Guglielmi A., Feygin F.Z. On ponderomotive acceleration of heavy ions in magnetospheric plasma // XV школа-конференция с международным участием «Пробле-

мы Геокосмоса – 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. СТ. GC2024-STP066.

67. Potapov A.S. Simultaneous observations of the IAR wave structure at the mid-latitude and auroral stations // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 35–36.

68. Ratovsky K.G., Klimenko M., Vesnin A.M., Belyuchenko K.V. Reference responses of regional electron content to isolated magnetic storms // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 21.

69. Rubtsov A.V., Nose M., Matsuoka A., Kasahara Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Hori T., Teramoto M., Shinohara I., Miyoshi Y. ULF waves in the Earth's magnetosphere: spatial distribution, polarization and geomagnetic conditions // COSPAR 2024 45th Scientific Assembly. July 13–23, 2024. BEXCO, Busan, Korea: Abstracts. 2024. СТ. D3.4-0006-24.

70. Rubtsov A.V., Anfinogentov S. Possible signatures of the Interplanetary Coronal Mass Ejection at the background of the Earth from IMAGE/EUV data // ESWW2024: 20 years of expanding horizons, from fundamental science to protecting society. Coimbra, Portugal, 4–8 November, 2024: Abstracts. 2024.

71. Rubtsov A.V., Nose M., Matsuoka A., Kasahara Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Hori T., Teramoto M., Shinohara I., Miyoshi Y. Spatial distribution of ULF waves in the Earth's magnetosphere from 4 years of Arase data – wave polarization and plasmopause influence // ESWW2024: 20 years of expanding horizons, from fundamental science to protecting society. Coimbra, Portugal, 4–8 November, 2024: Abstracts. 2024.

72. Rubtsov A.V. ULF wave polarization dynamics as a key to understand wave-particle interactions in the magnetosphere // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 28.

73. Shamsutdinova Yu.N., Kashapova L.K. Recognition of solar flares in microwave observations using machine learning // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 16–17.

74. Shamsutdinova Yu.N., Kashapova L.K., Li Z., Su Y. Spatial and spectral evolution of microwave and X-ray sources during the solar limb flare on February 5, 2023 // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 17.

75. Shamsutdinova Yu.N., Kashapova L.K., Li Z., Su Y. Relationship between microwave and X-ray ranges during an impulsive solar flare // The 6th Asia Pacific Solar Physics Meeting (APSPM). Guangzhou, China, 11–15 November, 2024: Programme. 2024.

76. Shamsutdinova Yu.N., Kashapova L.K. Application of machine learning for recognition of solar flares in microwave observations // The 6th Asia Pacific Solar Physics Meeting (APSPM). Guangzhou, China, 11–15 November, 2024: Programme. 2024.

77. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Driga M.B. Parameterization of optical turbulence characteristics over the Baikal astrophysical observatory // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 40.

78. Shubin D.A., Rubtsov A.V., Mager P., Klimushkin D. Feasibility of the frozen-in field line condition in magnetospheric disturbances: analysis of THEMIS-A data // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 28–29.

79. Smotrova E.E., Mikhailova O.S., Mager P., Klimushkin D. Simultaneous observation of proton-generated Alfvén wave and electron-generated compressional wave in dayside magnetosphere // COSPAR 2024 45th Scientific Assembly. July 13–23, 2024. BEXCO, Busan, Korea: Abstracts. 2024. СТ. D3.8-0009-24.

80. Smotrova E.E., Mager P., Mikhailova O.S. A method for estimating the ionospheric conductivity based on spacecraft observations of Alfvén waves in the magnetosphere // The 15th

Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 29.

81. Sych R.A., Zhu X., Chen J., Yan F. Spatial structure of resonance cavities in sunspots // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 18.

82. Sych R.A., Zhu X., Chen J., Yan F. Spatial Structure of Resonance Cavities in Sunspots // The 6th Asia Pacific Solar Physics Meeting (APSPM). Guangzhou, China, 11–15 November, 2024: Programme. 2024.

83. Syrenova T., Beletsky A.B., Vasilyev R.V., Podlesny S. Spatiotemporal characteristics of the December 1, 2023 magnetic storm on data from the NHC optical complex and the Irkutsk Regional Astronomical Society // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11-15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 23. <http://pgia.ru/seminar/>

84. Syrenova T., Beletsky A.B., Vasilyev R.V. Mid-latitude auroras during geomagnetic storms from data by NHC optical instruments and citizen scientists // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 38.

85. Tan C., Kuznetsov A.A. Muser observation and joint study with SRH // The 15th Russian-Chinese Workshop on space weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 38.

86. Tung S., Sippl C., Shirzaei M., Taymaz T., Masterlark T., Medvedeva I.V., Kang S. Static and Post-Seismic Poroelastic Changes of Coulomb Stress Following the 2023 Mw7.8 and Mw7.6 Kahramanmaras Earthquake Doublet, Türkiye // AGU 2024. Washington, D.C., 9–13 December 2024: Abstracts. 2024.

87. Vasilyev R.V., Artamonov M., Beletsky A.B., Kostyleva N.V., Mikhalev A.V., Podlesny S., Saunkin A.V., Shelkov A., Tkachev I., Zorkaltseva O.S. Optical instruments of the National heliogeophysical complex of RAS // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024 : Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 8–9.

88. Vesnin A.M., Yasyukevich Yu.V., Kiselev A.V. SIMURG as an open science platform for GNSS driven ionospheric researches // COSPAR 2024 45th Scientific Assembly. July 13-23, 2024. BEXCO, Busan, Korea: Abstracts. 2024. CT. C1.3-0025-24.

89. Vashishth V., Karak B.B., Kitchatinov L.L. Dynamo modelling for cycle variability and occurrence of grand minima in Sun-like stars // XXXII IAU General Assembly (IAUGA 2024), Capetown, South Africa, 6–15 August, 2024: Abstracts. 2024.

90. Vlasov A.A., Kozlov D.A. Determining the transverse structure of Alfvén waves recorded by the Van Allen Probes satellites by means of the phase portraits technique // XV Школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса — 2024». 22–26 апреля 2024 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2024. СТ. GC2024-STP048.

91. Vlasov A.A., Kozlov D.A. Radial structure of magnetospheric Alfvén waves and phase difference between transverse magnetic components: two case studies // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 29.

92. Wang X., Sun Y., Demidov M.L. Multi-spectral stereoscopic detection of the solar atmosphere and its precise formation heights // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 30.

93. Wu Zh., Kuznetsov A.A., Anfinogentov S., Melnikov V.F., Sych R.A., Chen J. Study on the multipole flare with high turnover-frequency microwave spectra with SRH data // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 19.

94. Yamamoto K., Rubtsov A.V., Kostarev D.V., Mager P., Klimushkin D., Nose M., Matsuoka A., Asamura K., Miyoshi Y., Yokota S., Kasahara S., Hori T., Keika K., Kasahara Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Shinohara I. Direct Evidence of Drift-Compressional Wave Genera-

- tion in the Earth's Magnetosphere Detected by Arase // AGU 2024. Washington, D.C., 9–13 December 2024: Abstracts. 2024.
95. Yasyukevich Yu.V., Kiselev A.V., Vesnin A.M., Padokhin A., Edemskiy I.K., Ivanov A., Salimov B.G. Global navigation satellite systems for space weather studies // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 48.
96. Yazev S.A., Isaeva E.S., Hos-Erdene B. Features of a solar flare excess in May–June 2024 // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 20.
97. Zherebtsov G.A., Perevalova N.P. Studying large-scale structures in the high-latitude ionosphere at meridional chains of stations on the Eurasian continent // The 15th Russian-Chinese Workshop on Space Weather. Irkutsk, Russia, September 9–13, 2024: Abstracts. Irkutsk, 2024. P. 40.
98. Белецкий А.Б., Сыренова Т. Е., Михалев А.В., Марчук Р.А., Подлесный С.В., Васильев Р.В. Среднеширотные сияния 25-го Солнечного цикла по данным оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 26.
99. Белецкий А.Б., Ткачев И.Д., Грач С.М., Насыров И.А., Когогин Д.А., Шиндин А.В., Дементьев В.О., Васильев Р.В., Легостаева Ю.К. Предварительные результаты экспериментальных кампаний 2024 года по регистрации свечения ионосферы, индуцированного мощным коротковолновым излучением стенда СУРА // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.I.470. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
100. Белюченко К.В., Клименко М.В., Ратовский К.Г., Веснин А.М. Отклик регионального электронного содержания высокоширотной ионосферы на эталонную геомагнитную бурю // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk Region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 86.
101. Бернгардт О.И. Минимальное количество нейронов в полносвязных слоях данной нейронной сети (первое приближение) // Ляпуновские чтения – 2024. Материалы 40-й международной конференции. Иркутск, 2–6 декабря 2024 г. Иркутск: Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, 2024. С. 20.
102. Кузин С.В. Образ группировки МКА для гелиофизических исследований и прогноза космической погоды // Междунар. научно-практической конференция «Открываем космос 2024». ИКИ РАН, Москва, 5 октября 2024 г.: программа. Москва, 2024.
103. Кузин С.В. Использование коммерческих КМОП-матриц для регистрации рентгеновских изображений с микронным разрешением // Междунар. научно-практической конференция «Открываем космос 2024». ИКИ РАН, Москва, 5 октября 2024 г.: программа. Москва, 2024.
104. Лукин В.П., Коняев П.А., Больбасова Л.А., Борзилов А.Г., Колобов Д.Ю., Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю. Переход от многоконтурных систем адаптивной оптики для солнечных телескопов к мультисопряженным // XXVII Междунар. научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Москва, Россия, 29–31 мая 2024 г.: тезисы докл. Москва: Издательство: Акционерное общество НПО «Орион», 2024. С. 378–379. DOI: 10.51368/978-5-94836-696-8-2024-378.
105. Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстикова М.В. Сравнительный анализ короткопериодной изменчивости температуры области мезопаузы и максимума электронной концентрации // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.I.205. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.

106. Немцева Д.Б., Семинский И.К., Гомульский В.В., Мисюркеева Н.В., Куклина Ф.Р., Агафонов Ю.А., Давыденко С.А. Некоторые особенности строения верхней части разреза предгорья Анд применительно к поискам и разведке гидроминерального сырья // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. IX Международный симпозиум. Бишкек, 24–29 июня 2024 г.: тезисы докл. Бишкек, 2024. С. 294.
107. Павлов И.А., Падохин А.М., Илюшин Я.А. Сравнение различных моделей эволюции системы при ассимиляции данных вертикального ТЕС в модель NeQuick2 // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024. P. 92.
108. Павлов И.А., Падохин А.М. Пространственно-корреляционный анализ данных полного электронного содержания на примере Европейского региона // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.I.224. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a
109. Пархомов В.А., Довбня Б.В., Еселевич В.Г., Родионов А.В. Широко-долготные закономерности магнитосферного отклика на взаимодействие с диамагнитной структурой солнечного ветра в геомагнитных пульсациях типа Pc1s // The 47th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. PGI, Apatity, Murmansk Region, Russia, March 11–15, 2024: Abstracts. Apatity, 2024.
110. Семинский И.К., Кувшинов А.В., Агафонов Ю.А. Глубинное геоэлектрическое строение центральной части Байкальского рифта по новейшим данным МТЗ // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. IX Международный симпозиум. Бишкек, 24–29 июня 2024 г.: тезисы докл. Бишкек, 2024. С. 312.
111. Серебренникова С.А., Иванова В.А., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Поддельский А.И., Белинская А.Ю. Новая программа IONVIEW для интерактивной обработки ионограмм: возможности, преимущества и параметры использования // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.I.251. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
112. Сыренова Т. Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В. Среднеширотные сияния во время геомагнитных бурь по данным оптического комплекса НГК и снимкам гражданских ученых // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.I.471. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
113. Толстик М.В., Ратовский К.Г., Медведев А.В. Экспериментальное исследование высокочастотных перемещающихся ионосферных возмущений по данным радиофизического комплекса ИСЗФ СО РАН // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.I.437. DOI 10.21046/22DZZconf-2024a.
114. Хабитуев Д.С., Черниговская М.А. Вариации скорости дрейфа ионизации над югом Восточной Сибири по архивным данным станций вертикального зондирования // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.I.395. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
115. Черниговская М.А., Перевалова Н.П., Сетов А.Г. Детектирование главного ионосферного провала по данным ГНСС и ионозондов // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.I.115. DOI 10.21046/22DZZconf-2024a.
116. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Леженин А.А., Градов В.С. Методы диагностики атмосферы с высоким пространственным разрешением // Двадцать вторая междуна-

родная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.D.315. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.

117. Шиховцев А.Ю., Ковadlo П.Г. Особенности параметризации дневной оптической турбулентности в месте расположения Большого солнечного вакуумного телескопа // Двадцать вторая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 11–15 ноября 2024 г. Москва, ИКИ РАН: тезисы докл. Москва, 2024. XXII.D.317. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.

118. Язев С.А. Отечественная космонавтика и пропаганда // Третья международная конференция по космическому образованию «Дорога в космос». ИКИ РАН, Москва, 1–5 октября 2024 г.: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 462–465.

119. Язев С.А. Проблемы школьной астрономии России и космонавтика // Третья международная конференция по космическому образованию «Дорога в космос». ИКИ РАН, Москва, 1–5 октября 2024 г.: тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2024. С. 466–470.

СОДЕРЖАНИЕ

Основные научные направления Института	3
Структура Института	4
1. Строительство и проектирование Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук	7
1.1. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Солнечный телескоп-коронограф	8
2. Основные научные результаты	9
2.1. Исследования в области физики Солнца, радиоастрофизики и космических лучей	9
2.1.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности	9
2.1.1.1. Сейсмические проявления динамо-волн в вариациях солнечного дифференциального вращения	9
2.1.1.2. Бюджет тороидального магнитного потока в модели динамо солнечных циклов 23 и 24	10
2.1.1.3. Модель влияния звездных пятен на циклы магнитной активности	10
2.1.1.4. Наблюдение гелиосейсмологически активной солнечной вспышки с низким потоком жесткого рентгеновского излучения до 50 кэВ	11
2.1.1.5. Северо-южная асимметрия солнечной активности в 25-м цикле Швабе — Вольфа	12
2.1.1.6. Управляющие параметры эволюции солнечных активных областей	13
2.1.1.7. Магнитосферная реакция на воздействие диамагнитных структур солнечного ветра, порождаемых эруптивными протуберанцами областей	13
2.1.2. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца	15
2.1.2.1. Исследование процессов ускорения и переноса электронов в солнечной вспышке 6 марта 2023 г. по наблюдениям российских и китайских инструментов	15
2.1.2.2. Идентификация типа трехминутных колебаний в солнечных пятнах и их окрестностях	16
2.1.2.3. Пространственная структура резонансных полостей в солнечной короне	16
2.1.3. Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства	17
2.1.3.1. Фотометрические наблюдения и моделирование формы космического мусора на средневысотных орбитах	17
2.1.3.2. Взаимодействие аккреции и околозвездной экстинкции как причина необычной переменности WTTS-звезды V715 Per	18
2.1.3.3. Оптический мониторинг GRB201015A	19
2.1.4. Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей	20

2.1.4.1. Диагностика гелиосферы, магнитосферы и атмосферы по эффектам в космических лучах в периоды отдельных форбуш-эффектов	20
2.1.4.2. Спектры и анизотропия космических лучей в период GLE64	21
2.1.4.3. Явления гистерезиса в отклике геомагнитной активности и параметров космических лучей на вариации межпланетной среды во время магнитной бури	22
2.1.4.4. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН	23
2.2. Исследования в области физики околоземного космического пространства	23
2.2.1. Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн	23
2.2.1.1. Сверхзвуковые волны и ионосферная дыра нехимического происхождения, вызванные полетом и взрывом сверхтяжелого космического корабля Starship	23
2.2.1.2. Исследование интенсивности 27-дневной компоненты в солнечном излучении и ионосферном электронном содержании	24
2.2.1.3. Модификация и параллелизация исходного кода полуэмпирической модели ионосферы IRI-2016	25
2.2.1.4. Исследование откликов регионального электронного содержания на геомагнитные события методом наложенных эпох с использованием AE-индекса	26
2.2.1.5. Метод эффективных вычитаний: работа с данными Иркутского радара некогерентного рассеяния	27
2.2.1.6. Комплексное исследование динамики средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария в спокойных и возмущенных условиях на основе анализа данных мультиинструментальных наблюдений	28
2.2.1.7. Экспериментальное исследование высокочастотных перемещающихся ионосферных возмущений по данным радиофизического комплекса ИСЗФ СО РАН	29
2.2.1.8. Метод поиска минимальной ширины нейронной сети	30
2.2.2. Теоретические и экспериментальные исследования распространения дециметровых радиоволн в волноводе Земля - ионосфера с учетом рассеяния на неровностях подстилающей поверхности и неоднородностей ионосферы различных масштабов	31
2.2.2.1. Комплексный алгоритм исследования коротковолновых радиотрасс	31
2.2.2.2. Возмущения ионосферного радиоканала во время геомагнитных бурь в ноябре–декабре 2023 г.	33
2.2.2.3. Особенности ионосферных возмущений, сопровождавших магнитную бурю 14–20 января 2022 г.	34
2.2.2.4. Комплексное исследование динамики средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария в спокойных и возмущенных условиях на основе анализа данных мультиинструментальных наблюдений	36
2.2.2.5. Реализована многопозиционная сеть ЛЧМ-ионозондов для непрерывного мониторинга характеристик перемещающихся ионосферных возмущений в Азиатском регионе России	37

2.2.2.6. Пространственно-временное развитие поглощения космического шума на субавроральных широтах по данным мультистанционных наблюдений с помощью наземных риометров	38
2.2.2.7. Комплексное исследование динамики средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария в спокойных и возмущенных условиях на основе анализа данных мультиинструментальных наблюдений	40
2.2.2.8. Вариации наименьших наблюдаемых частот во время рентгеновских солнечных вспышек классов M и X в апреле 2022 г.	42
2.2.3. Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий	43
2.2.3.1. Анализ динамики тропосферного отклика на вариации электрического потенциала во время очень больших геомагнитных бурь 23-го солнечного цикла	43
2.2.3.2. Корреляционный анализ короткопериодной волновой активности в области мезопаузы и F2-слое ионосферы	44
2.2.3.3. Сезонные вариации атмосферных примесей в Байкальском регионе по данным спутниковых наблюдений AURA MLS	44
2.2.3.4. Исследование межгодовых вариаций температуры мезопаузы и максимума электронной концентрации	45
2.2.3.5. Комплексное исследование динамики средне- и высокоширотной ионосферы Северного полушария в спокойных и возмущенных условиях на основе анализа данных мультиинструментальных наблюдений	46
2.2.3.6. Оценка электронного содержания плазмосферы и высоты перехода O^+/H^+ во время геомагнитной бури в феврале 2022 г. по данным Иркутского радара HR	47
2.2.3.7. Скорости ионосферных возмущений, вызванных извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай	48
2.2.3.8. Количественная оценка влияния изменения температуры нейтральной атмосферы на концентрацию электронов в ионосфере	49
2.2.4. Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике	50
2.2.4.1. База данных наблюдений трех компонент геомагнитного и двух компонент электротеллурического полей Земли на территории Тункинской долины	50
2.2.4.2. Методика совместного моделирования пространственно-временной структуры вариаций магнитного поля ионосферного и магнитосферного происхождения	51
2.2.4.3. Влияние Эль-Ниньо на параметры атмосферы над Восточной Сибирью по данным реанализа и моделирования в зимний период	52
2.2.4.4. Опрокидывание волн Россби в стратосфере	53
2.2.4.5. Особенности вертикального распределения температуры над г. Томском во время внезапного стратосферного потепления	54
2.2.4.6. Зависимость нормальных мод баротропного уравнения вихря от структуры среднего течения и параметров численного моделирования	54

2.2.4.7. Результаты наблюдения акустических волн от сильного извержения вулкана Хунга-Тонга	56
2.2.4.8. Изучение низкочастотного атмосферного излучения, основанное на данных акустической станции ИСЗФ СО РАН	56
2.2.4.9. Исследование влияния внезапных стратосферных потеплений на вариации эмиссионного слоя 557.7 нм	57
2.2.4.10. Исследование пространственно-временных характеристик среднеширотных сияний	59
2.2.4.11. Структура и динамика среднеширотных сияний в 25-м солнечном цикле	60
2.2.4.12. Искусственное оптическое свечение ионосферы в линиях 557.7 нм и 391.4 нм	61
2.2.4.13. Калибровка интерферометров Фабри — Перо НГК РАН по звездам	62
2.2.4.14. Полярные сияния в периоды экстремальных геомагнитных бурь. Событие Кэррингтона	63
2.2.4.15. Полярные сияния в периоды экстремальных геомагнитных бурь. 11 февраля 1958 г.	64
2.2.4.16. Сопоставление ночных вариаций параметров нейтральной компоненты и концентрации электронов в верхней атмосфере	65
2.2.4.17. Перемещающиеся возмущения в эмиссии атомарного кислорода 630 нм во время воздействия на ионосферу мощного коротковолнового излучения стенда СУРА	66
2.2.4.18. Фотометрия ночной атмосферы Земли на основе цветного ПЗС-приемника	67
2.2.4.19. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Оптические инструменты НГК РАН	68
2.2.4.19.1. Статистическое исследование вариаций интенсивности, температуры и скоростей ветров в атмосфере, измеренных с помощью ИФП (интерферометров Фабри — Перо) из состава новых инструментов НГК	68
2.2.4.19.2. Сопоставление ночных вариаций параметров нейтральной компоненты и концентрации электронов в верхней атмосфере	71
2.2.4.19.3. Исследование ИК-спектров собственного свечения атмосферы, полученных спектрографом “КЕО-Infrared” в геофизической обсерватории п. Торы	73
2.2.4.19.4. Экстремальная магнитная буря 10–19 мая 2024 г.	75
2.2.5. Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе «солнечный ветер - магнитосфера – ионосфера»	77
2.2.5.1. Прямое доказательство возбуждения дрейфово-компрессионных волн посредством дрейфового резонанса с протонами кольцевого тока в магнитосфере	77
2.2.5.2. Баллонная неустойчивость в магнитосфере Земли: влияние конечной радиальной длины волны	78
2.2.5.3. Радарные наблюдения волны, генерированной суббуревой инжекцией: подтверждение теории движущегося источника	79
2.2.5.4. Исследование динамики бесстолкновительных сферических звездных систем с использованием матричного метода	80

2.2.5.5. Распространение альфвеновских волн в стационарном неоднородном течении плазмы	80
2.2.5.6. Распространение волн в неоднородной среде, движущейся с изменяющейся в пространстве скоростью	81
2.2.5.7. Исследование влияния космической погоды на трубопроводы в высоких широтах	81
2.2.5.8. Исследование свойств и структуры излучений ионосферного альфвеновского резонатора	82
2.2.5.9. Исследование пондеромоторного разделения ионов с различным отношением заряда к массе под воздействием альфвеновских волн	83
2.2.5.10. Исследование спектра УНЧ-колебаний ионосферы в диапазоне Pc1	83
2.2.5.11. Определение радиальной структуры альфвеновских волн методом фазового портрета	83
2.2.5.12. Исследование генерации геомагнитных пульсаций Pc4–5 потоками энергичных частиц в дневной магнитосфере	84
2.2.5.13. Исследование экваториального резонатора для волн диапазона Pc1 в магнитосфере	84
2.2.5.14. Динамика продольных токов зоны 1 Ииджимы — Потермы в период стационарной магнитосферной конвекции по данным техники инверсии магнитограмм	85
2.2.5.15. Выполнимость условия замороженности в магнитосферных возмущениях	86
2.2.5.16. Структура коронального выброса массы в межпланетном пространстве	86
2.2.5.17. Исследование среднеширотных вспышек пульсаций PiВ	87
2.2.5.18. Исследование нерезонансного затухания Ландау в сдвиговых слоях	87
2.2.6. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце-Земля	88
2.2.6.1. Колебания скорости корональных выбросов массы и связанной ударной волны: сравнительный анализ	88
2.2.6.2. Изучение внезапного начала магнитной бури по наблюдениям с секундным временным разрешением	89
2.2.6.3. Влияние взрывных процессов в активных областях на характеристики магнитного поля в тени солнечных пятен в зависимости от их размеров и положения	90
2.2.6.4. Электромагнитное излучение из плазмы со встречными пучками электронов в режиме доминирования косой неустойчивости	91
2.2.6.5. Моделирование релаксации слабого электронного пучка в плазме солнечного ветра	92
2.2.6.6. Разработка методов оперативного прогнозирования ПЭС на основе градиентного бустинга	93
2.3. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики	95
2.3.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента	95

2.3.1.1. Разработка узкополосного интерференционно-поляризационного фильтра (ИПФ) с полушириной полосы пропускания 0.15 Å на линию КCaII	95
2.3.1.2. Эволюция микроволновых и рентгеновских источников во время импульсной вспышки 5 февраля 2023 по данным СРГ и ASO-S	96
2.3.1.3. Моделирование временных профилей событий в солнечных космических лучах	97
2.3.1.4. Локализация источника γ -излучения в залимбовой вспышке	98
2.3.1.5. Универсальный метод расчета основных характеристик атмосферной оптической турбулентности и его апробация для астрономических обсерваторий	99
3. Работа обсерваторий, Центра коллективного пользования «Ангара», уникальных научных установок	100
3.1. Байкальская астрофизическая обсерватория	100
3.2. Саянская солнечная обсерватория	102
3.3. Радиоастрономическая обсерватория им. проф. Г.Я. Смолькова	104
3.4. Геофизическая обсерватория	106
3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы	108
3.6. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория	110
3.6.1. Магнитная обсерватория	110
3.6.2. Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория	114
3.7. Норильская магнитно-ионосферная станция	116
3.7.1. Выносной наблюдательный пункт Исток	118
3.8. Центр коллективного пользования «Ангара»	119
3.9. Уникальные научные установки	120
3.9.1. Радиогелиограф	120
3.9.1.1. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Радиогелиограф	122
3.9.2. Иркутский радар некогерентного рассеяния	126
3.9.3. Большой солнечный вакуумный телескоп	127
3.9.4. Оптические инструменты	129
3.10. Сеть некогерентных радаров СЕКИРА	134
4. Научно-организационная деятельность	135
4.1. Общие сведения	135
4.2. Деятельность Ученого совета	137
4.3. Деятельность диссертационного совета	138
4.4. Международное сотрудничество	138
4.5. Издательская деятельность	141
4.6. Работа библиотеки	141
4.7. Образовательная деятельность	142

4.8. Работа с вузами	145
4.9. Работа Научно-образовательного центра	146
4.10. Научно-историческая работа	148
4.11. Работа Совета научной молодежи Института	149
4.12. Проведение научных мероприятий	150
4.13. Участие в выставках	153
4.14. Участие в научных мероприятиях	153
4.14.1. Российские	153
4.14.2. Международные	154
5. Публикации	155
5.1. Российские издания	155
5.2. Зарубежные издания (включая переводные)	159
5.3. Монографии	166
5.4. Результаты интеллектуальной деятельности	166
5.5 Электронные издания	167
5.6. Доклады на российских конференциях	167
5.7. Доклады на международных, в том числе зарубежных, конференциях	169
5.8. Тезисы докладов на российских конференциях	177
5.9. Тезисы докладов на международных конференциях	186
Содержание	196