

**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 2022 г.**



Иркутск, 2023

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

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

Научный руководитель Института — академик РАН Г.А. Жеребцов

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

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

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

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

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

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

## СТРУКТУРА ИНСТИТУТА

### Научные подразделения

#### Отдел физики околоземного космического пространства

Рук. отд. — д.ф.-м.н. В.И. Куркин

- Лаборатория физики ионосферно-магнитосферного взаимодействия  
(зав. лаб. — д.ф.-м.н. А.В. Тащилин)
- Лаборатория изучения плазменно-волновой структуры магнитосферы  
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климущкин)
- Лаборатория развития новых методов радиофизической диагностики атмосферы  
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский)
- Лаборатория физики нижней и средней атмосферы  
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев)
- Лаборатория исследования динамических процессов в ионосфере  
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт)
- Лаборатория диагностики ионосферы и распространения радиоволн  
(зав. лаб. — д.ф.-м.н. В.И. Куркин)
- Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория (КМИО)  
(зав. обсерваторией — И.С. Москалев)
- Геофизическая обсерватория (ГФО) (зав. обсерваторией — А.В. Татарников)
- Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы (ОРДА)  
(зав. обсерваторией — А.В. Заворин)
- Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция (Норильская КМИС)  
(зав. станцией — О.Г. Омельян)

#### Отдел радиоастрофизики

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

- Руководитель научного направления по радиоастрофизике —  
д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев
- Лаборатория мониторинга солнечной активности (зав. лаб. — к.т.н. А.В. Губин)
  - Лаборатория информационного обеспечения и методологии исследований  
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. С.А. Анфиногентов)
  - Лаборатория радиоастрофизических исследований Солнца  
(зав. лаб. — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов)
  - Радиоастрофизическая обсерватория (РАО) (и.о. зав. обсерваторией —  
П.М. Шипулин)

#### Отдел физики Солнца

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

- Руководитель научного направления по физике Солнца — чл.-корр. РАН  
В.М. Григорьев
- Лаборатория экспериментальной физики Солнца и астрофизического приборостроения  
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов)
  - Лаборатория строения солнечной атмосферы  
(зав. лаб. — д.ф.-м.н. В.И. Скоморовский)
  - Лаборатория солнечной активности (и.о. зав. лаб. — к.ф.-м.н. Г.П. Машнич)
  - Лаборатория инфракрасных методов в астрофизике  
(зав. лаб. — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич)
  - Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО) (зав. обсерваторией —  
К.Е. Кириченко)
  - Саянская солнечная обсерватория (ССО) (и.о. зав. обсерваторией — А.Г. Рудаков)

**Конструкторский отдел**

Зав. отд. — А.Я. Смольков

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

**Отдел аспирантуры и магистратуры**

Зав. отд. — Е.П. Белоусова

**Отдел по защите информации и сетевому сопровождению**

Зав. отд. — А.С. Шелопугин

**Отдел по капитальному строительству**

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

**Административно-хозяйственные подразделения**

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

**Научно-вспомогательное подразделение**

- Редакционно-издательский отдел (зав. отделом — М.В. Никонова)
- Научная библиотека (зав. библиотекой — О.Н. Капуркина)
- Патентный отдел (зав. отделом — д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов)
- Первый отдел (нач. отдела — Л.Ф. Мова)
- Группа переводчиков
- Группа научно-технического сопровождения

**Руководство Института***Директор*

чл.-корр. РАН А.В. Медведев

*Научный руководитель*

академик РАН Г.А. Жеребцов

*Первый заместитель директора*

д.ф.-м.н. С.В. Олемской

*Заместитель директора  
по научно-исследовательской  
работе*д.ф.-м.н. М.Л. Демидов  
к.ф.-м.н. С.В. Лесовой*Заместитель директора  
по научной работе и инноваци-  
онной деятельности*

к.ф.-м.н. В.В. Хахинов

*Руководитель научного направ-  
ления по физике Солнца*

чл.-корр. РАН В.М. Григорьев

*Руководитель научного направ-  
ления по радиоастрофизике*

д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев

*Зам. директора по капитально-  
му строительству*

П.В. Фадеев

*Заместитель директора  
по общим вопросам*

В.М. Алешков

*Ученый секретарь*

к.ф.-м.н. И.И. Салахутдинова

Адрес:

Телефон:

Факс:

e-mail; web:

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова,  
д. 126-А  
(3952) 42-82-65  
(3952) 51-16-75, (3952)42-55-57  
uzel@iszf.irk.ru; www.iszf.irk.ru

## **1. Строительство и проектирование Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук**

### **1.1. О реализации проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН»**

Под руководством акад. Г.А. Жеребцова в ИСЗФ СО РАН была разработана концепция Национального гелиогеофизического комплекса РАН (далее НГК РАН), которая была утверждена президентом РАН акад. Ю.С. Осиповым в 2007 г. Целесообразность и необходимость реализации НГК РАН обосновывается существующим и усиливающимся отставанием научной экспериментальной базы России в области исследований по солнечно-земной физике и физике околоземного космического пространства (ОКП) на фоне непрерывного мирового развития этого научного направления. НГК РАН — перспективная экспериментальная база для решения актуальных фундаментальных и прикладных задач, ориентированных на обеспечение безопасности страны и развитие новых, конкурентоспособных космических технологий. Состояние ОКП, особенно в Арктическом регионе России, во многом определяет работоспособность и эффективность функционирования крупных инженерно-технических систем наземного и космического базирования, таких как системы предупреждения ракетного нападения и воздушно-космической обороны, ГЛОНАСС и низкоорбитальных спутниковых группировок, радиосвязи, радиолокации и радионавигации.

Необходимость реализации НГК РАН была поддержана 19 поручениями Президента РФ и Правительства РФ: от 29 августа 2007 г. № СИ-П7-504с, от 19 апреля 2008 г. № СИ-П7-2401, от 12 августа 2008 г. № СИ-П7-11пр, от 26 декабря 2008 г. № СИ-П7-7591, от 12 февраля 2009 г. № СИ-П7-817, от 20 мая 2009 г. № СИ-П7-2739, от 20 июля 2009 г. № ВП-П7-4072, от 20 сентября 2010 г. № ВП-П8-6943, от 10 ноября 2010 г. № СИ-П8-7616, от 27 июля 2011 г. № ВП-П8-5451, от 29 июля 2011 г. № СИ-П8-5453, от 07 сентября 2011 г. № ВП-П8-6448, от 14 сентября 2011 г. № СИ-П8-6500, от 04 декабря 2011 г. № ВП-П8-8654, от 09 декабря 2011 г. № СИ-П8-8770, от 08 августа 2012 г. № ДМ-П8-4643, от 30 ноября 2012 г. № Пр-3230, от 08.09.2017 № П8-47048, от 27.04.2017 № Пр-852, от 2 ноября 2021 г. № Пр-2086.

Руководствуясь вышеуказанными поручениями Президента РФ, Правительство РФ выпустило постановление от 26.12.2014 № 1504 «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и строительство объектов капитального строительства «Укрупненный инвестиционный проект Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук», 1 этап». Заказчиком (застройщиком) НГК РАН определен ИСЗФ СО РАН.

Учитывая стратегическую важность реализации Комплекса, а также научно-технологический задел, созданный при реализации 1-го этапа Комплекса, Распоряжением Правительства от 01.12.2018 № 2659-р 1-й и 2-й этапы НГК РАН включены в план комплексного развития Сибирского отделения Российской академии наук с учетом приоритетов и долгосрочных планов развития Сибирского федерального округа.

Распоряжением Правительства Республики Бурятия от 22.05.2019 № 270-р «О Плате социального развития центров экономического роста Республики Бурятия» одним из приоритетных инвестиционных проектов приграничного центра развития Республики Бурятия определен Укрупненный инвестиционный проект «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук».

Законом Иркутской области от 10.01.2022 № 15-ОЗ «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Иркутской области на период до 2036 года» одним из современных трендов науки и инноваций в регионе определен Национальный гелиогеофизический комплекс РАН, создаваемый на основе материально-технической экспериментальной базы ИСЗФ СО РАН.

Постановлением Президиума Сибирского отделения РАН от 22.12.2022 № 432 по итогам доклада директора Института чл.-корр. РАН Медведева А.В. и научного руководителя Института акад. РАН Жеребцова Г.А. «О реализации проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук» в 2022 году» отмечено, что НГК РАН ориентирован на выполнение фундаментальных научно-технологических программ полного инновационного цикла, создание эффективных современных моделей среды с целью прогноза и предупреждения негативных явлений, снижения их последствий для технических систем космического и наземного базирования.

## 1.2. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Радиогелиограф

В начале 2022 г. был закончен монтаж антенного оборудования и приемных систем для диапазона частот 12–24 ГГц. Таким образом, Радиогелиограф был готов к тестовым наблюдениям во всем диапазоне частот 3–24 ГГц. Первые наблюдения на антенной решетке 12–24 были проведены в январе 2022 г. После доработки программного обеспечения сбора/хранения/обработки данных для диапазона 12–24 ГГц была проведена серия тестовых наблюдений в марте–апреле 2022 г. во всех диапазонах частот одновременно. Результат наблюдений показан на рис. 1.2.1.

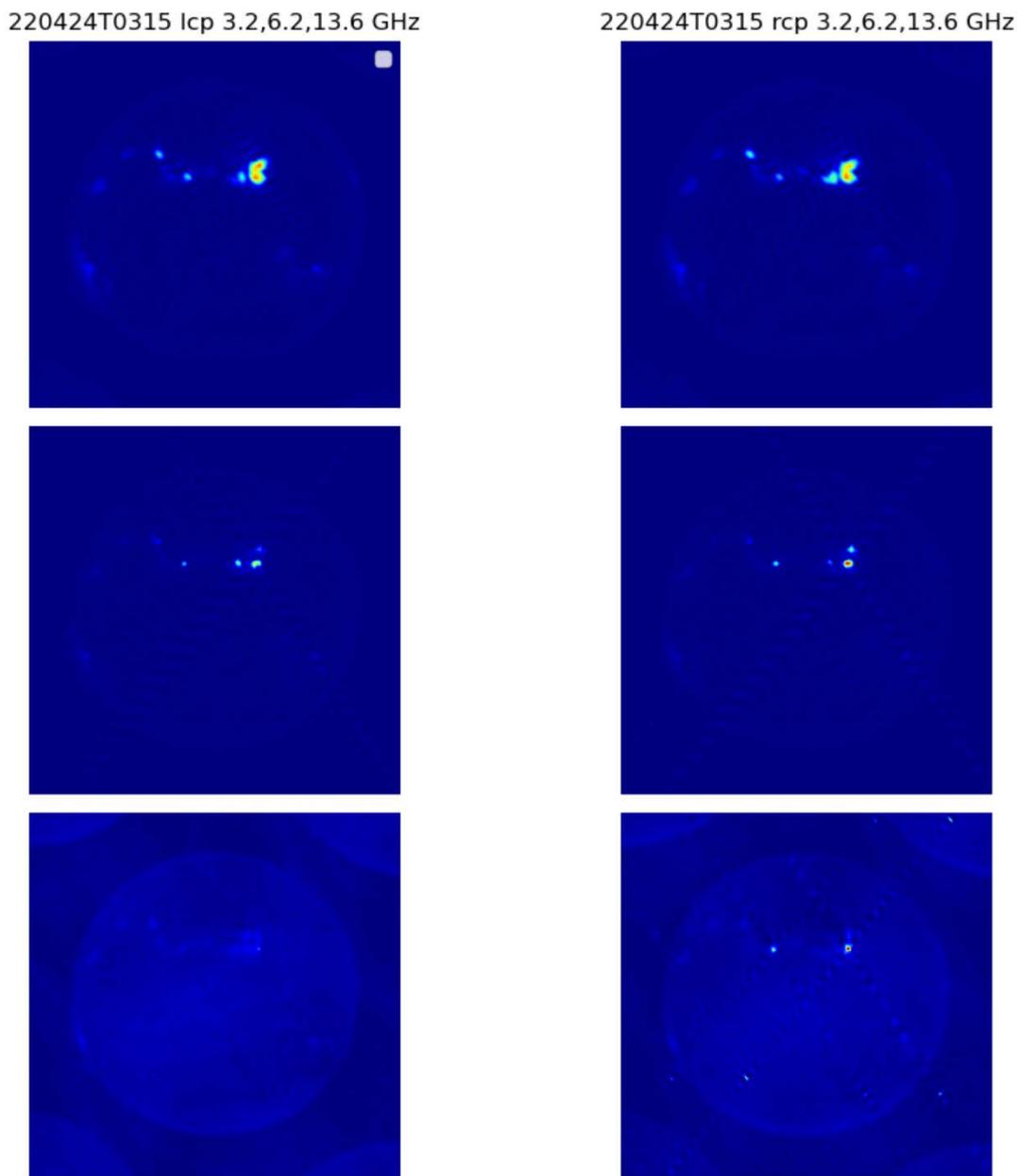
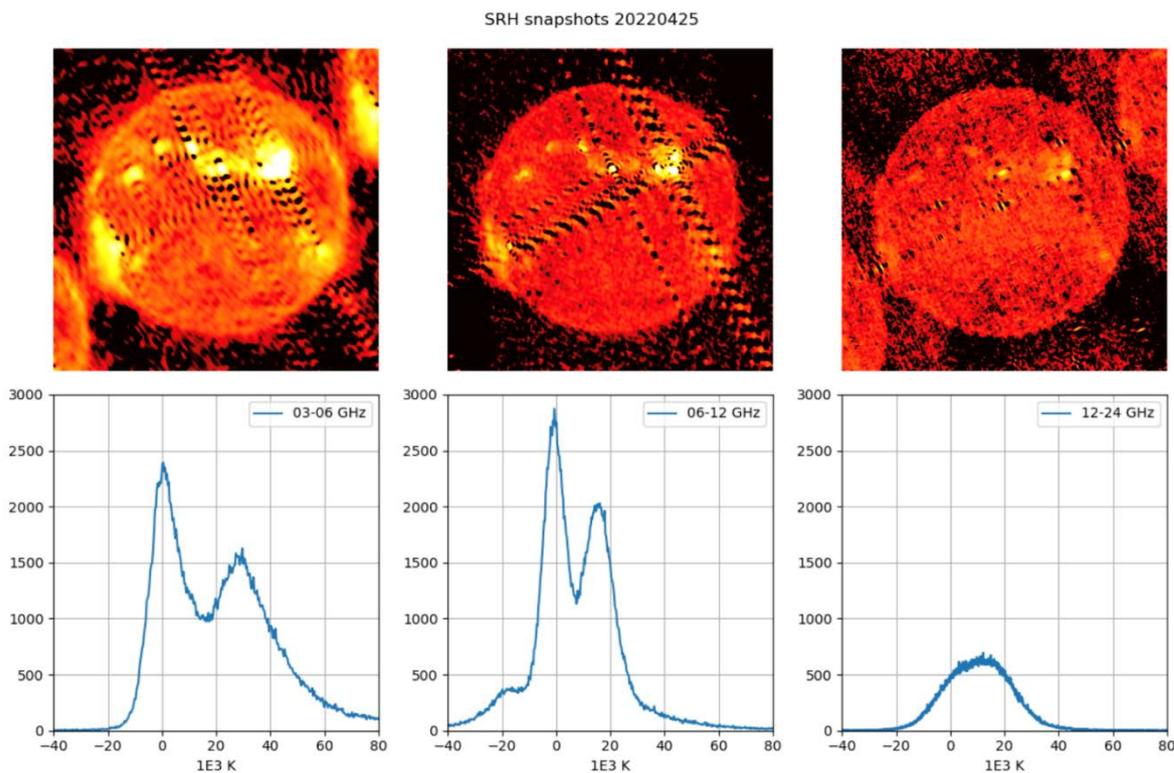


Рис. 1.2.1. Изображения Солнца на частотах 3.2, 6.2, 13.6 (сверху вниз), полученные 24 апреля 2022 г. при тестовых наблюдениях во всем диапазоне частот Радиогелиографа. Слева — левая круговая поляризация, справа — правая

Анализ изображений, полученных одновременно на трех антенных решетках, показал, что уровень шума в диапазоне 12–24 ГГц существенно выше, чем в диапазонах 3–6 и 6–12 ГГц. Соответственно, динамический диапазон изображений, полученных на антенной решетке 12–24 ГГц существенно ниже, чем в низкочастотных диапазонах. Это показано на рис. 1.1.2. Для решения современных астрофизических задач с помощью Радиогелио-

лиографа динамический диапазон мгновенных изображений должен быть близок к 1000. Видно, что в диапазонах 3–6 и 6–12 ГГц это условие почти выполняется и после завершения работ по уточнению антенных баз и ослаблению взаимовлияния антенных каналов, следовательно, можно ожидать, что оно будет выполнено. В диапазоне 12–24 ГГц динамический диапазон изображений слишком мал и довести его до значения 1000 не представляется возможным без замены, как минимум, облучателей, а возможно и изменения конструкции антенн. Наряду с указанными изменениями, возможно, потребуется замена гетеродина для диапазона 12–24 ГГц, так как существующий гетеродин дает слишком высокий уровень гармоник, попадающих прямо в канал промежуточной частоты. Гистограммы мгновенных изображений (нижняя панель рис. 1.2.2) показывают высокий уровень шума в диапазоне 12–24 ГГц, относительно уровня, соответствующего солнечному диску. Это делает невозможным привязку значений элементов изображения к яркостным температурам. Анализ откликов одиночных антенн в диапазоне 12–24 ГГц показал, что уровень шума превышает ожидаемый в 5–10 раз в зависимости от частоты.



*Рис. 1.2.2.* Верхняя панель: мгновенные (время накопления 0.2 с) изображения Солнца, полученные в диапазонах 3–6, 6–12 и 12–24 ГГц (слева направо). Нижняя панель: гистограммы изображений, иллюстрирующие отношение сигнал/шум. При хорошем отношении у гистограммы должно быть два уверенно фиксируемых максимума. Левый максимум соответствует уровню «неба» (шумам в областях без источников), правый — уровню солнечного диска. Динамический диапазон изображений на частотах 3–6, 6–12 ГГц составляет  $\sim 700$ , на частотах 12–24 ГГц —  $\sim 60$

Тестовые наблюдения в диапазонах 3–6 и 6–12 ГГц, проводившиеся в первой половине 2022 г., показали, что данные Радиогелиографа в этих диапазонах уже могут быть использованы для решения некоторых задач солнечной физики. На рис. 1.2.3 показано развитие коронального выброса массы, наблюдавшегося в диапазоне 6–12 ГГц 12 января 2022 г. Большое поле зрения Радиогелиографа и высокая чувствительность позволяют проследить за движением различных частей выброса до расстояний  $\sim 1$  радиуса Солнца. По зависимостям яркостной температуры различных частей выброса от времени и расстояния можно попытаться понять, сопровождается развитие выброса нагревом плазмы или нет. Работа готовится к публикации.

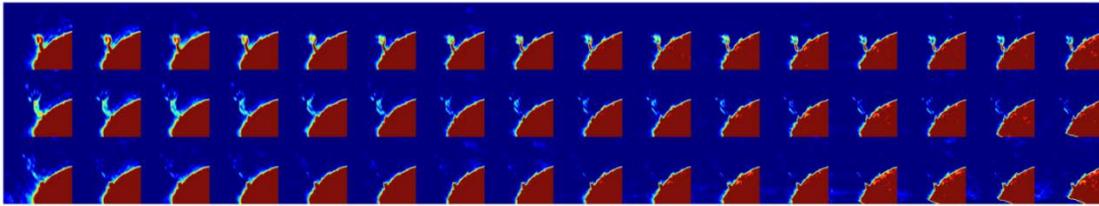


Рис. 1.2.3. Развитие коронального выброса массы 12 января 2022 г.

На рис. 1.2.4 показаны изображения активной области AR13004, содержащей гирорезонансные источники. Диапазон частот 3–12 ГГц, количество частотных каналов 32. По спектрам источников А и С (маркировка показана на нижней панели, левое нижнее изображение на частоте 9 ГГц) оценены напряженности магнитного поля в переходном слое между хромосферой и короной над этими источниками. Для источника А напряженность магнитного поля составляет  $\sim 1550$  Гс, для источника С —  $\sim 1650$  Гс. Это согласуется с фотосферными магнитограммами, дающими 1750 и 2130 Гс для пятен, над которыми расположены источники А и С. Исходя из того, как меняются расстояния между источниками А и С, соответствующими основаниям магнитных петель, можно оценить масштаб изменения напряженности магнитного поля с высотой. Для источника А получим  $\sim 7600$  км, для источника С —  $\sim 15100$  км. Полученные оценки предназначены для использования в процедурах экстраполяции фотосферного магнитного поля в корону. Результаты опубликованы в научных трудах конференции памяти Ю.Н. Парийского <https://pos.sissa.it/425/014/pdf>.

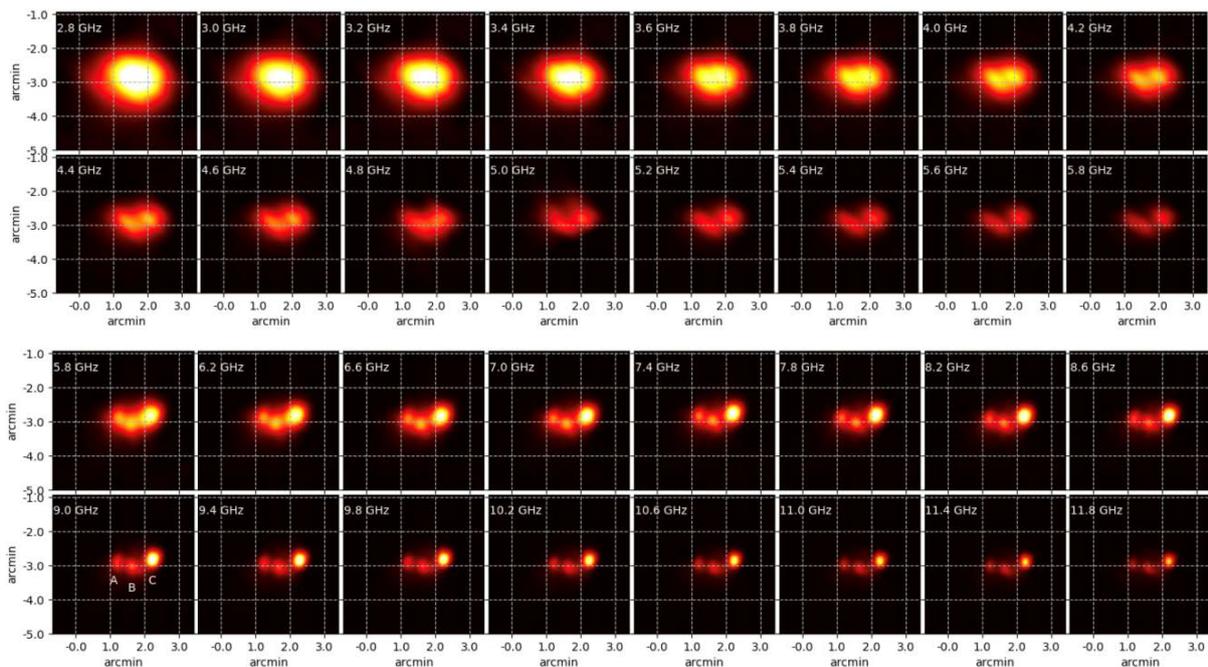


Рис. 1.2.4. Изображения активной области AR13004 с гирорезонансными источниками излучения на 32 частотах в диапазоне 3–12 ГГц, полученные 4 мая 2022 г. По спектрам источников можно оценить напряженность магнитного поля в переходном слое между хромосферой и короной. По зависимости расстояния между источниками А, С от частоты можно оценить высотный масштаб изменения напряженности магнитного поля над этими источниками

Проведенные на Радиогелиографе тестовые наблюдения в 2022 г. показали, что оборудование для диапазона 12–24 ГГц нуждается в доработке, а для диапазонов 3–6 и 6–12 ГГц после уточнения параметров опорно-поворотного устройства, антенных баз и уменьшения взаимовлияния каналов будет готово к регулярным наблюдениям; в текущем состоянии оно уже готово для решения некоторых задач солнечной физики: оценки магнитных полей в мощных источниках, исследования вспышек и корональных выбросов массы.

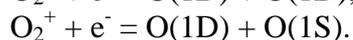
### 1.3. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Оптические инструменты

Оптические инструменты являются средством наблюдения состояния нейтральной компоненты верхней атмосферы при помощи свечения, возникающего в результате химических реакций или искусственного воздействия на верхнюю атмосферу мощным радиоизлучением или лазерным излучением. Спектральный состав свечения верхней атмосферы состоит преимущественно из линий и полос атомарных и молекулярных переходов атомарного и молекулярного кислорода, азота, гидроксила, натрия и калия. Оптические инструменты определяют характеристики этих линий и извлекают из них информацию о химическом составе, температуре и скорости ветра в верхней атмосфере в диапазоне высот 80–300 км.

В 2022 г. на объекте «Оптические инструменты» состоялось рабочее совещание ГК «Ростех», холдинга «Швабе», АО «ЛЗСО» в рамках при емки объекта. Были официально введены в эксплуатацию здания и сооружения, а также научное оборудование первого пускового объекта Национального гелиогеофизического комплекса РАН «Оптические инструменты». Научное оборудование включает в себя интерферометры Фабри — Перо для наблюдения поведения ветра и температуры верхней атмосферы, цифровые широкоугольные фотокамеры для наблюдения пространственного распределения интенсивности свечения, фотометры на основе устройств счета фотонов для наблюдения быстрых временных вариаций свечения и спектрометры видимого и инфракрасного диапазона для наблюдения спектрального состава свечения. Научное оборудование размещено в современном здании, предназначенном для проведения наблюдений, первичной обработки результатов и передачи их по сети заинтересованным пользователям. Для операторов оборудования и сооружений предусмотрено комфортное административно-хозяйственное здание с жилыми комнатами и конференц-залом.

Одним из первых научных мероприятий объекта следует считать научно-образовательный интенсив, посвященный оптическим и радиофизическим исследованиям верхней атмосферы Земли, проводившийся в рамках Байкальской школы по фундаментальной физике. В рамках этого мероприятия выполнялись одновременные наблюдения естественного свечения верхней атмосферы оптическими инструментами и электронной концентрации — радиофизическими средствами в совокупности с лекциями и практическими занятиями. Участниками мероприятия выступили молодые ученые из научных организаций Иркутска, Якутска, Апатит, Санкт-Петербурга и Москвы. Предварительные результаты, полученные на интенсиве, были доложены во время проведения тематического круглого стола в рамках Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике (БШФФ). Ниже приведены некоторые результаты, полученные на этом мероприятии.

Одной из наиболее подходящих для одновременных оптических и радиофизических исследований верхней атмосферы линий свечения является линия атомарного кислорода с длиной волны 630 нм. Это свечение генерируется в результате диссоциативной рекомбинации иона молекулярного кислорода, в результате чего образуются два нейтральных возбужденных атома кислорода в различных состояниях:



Именно состояние  $\text{O}(1\text{D})$  снимается высвечиванием фотона 630 нм. Поскольку электроны участвуют в этих ионных реакциях, количество генерируемых фотонов связано с электронной концентрацией и ее вариации (в отсутствие других процессов генерации  $\text{O}(1\text{D})$ ) должны коррелировать с вариациями свечения. На рис. 1.3.1 представлено поведение интенсивности свечения атомарного кислорода 630 нм (красная линия) и интеграла электронной концентрации в диапазоне высот  $250 \pm 25$  км в течение нескольких суток. Интенсивность свечения получена интерферометром Фабри — Перо, а высотный профиль электронной концентрации — Иркутским радаром некогерентного рассеяния (НР).

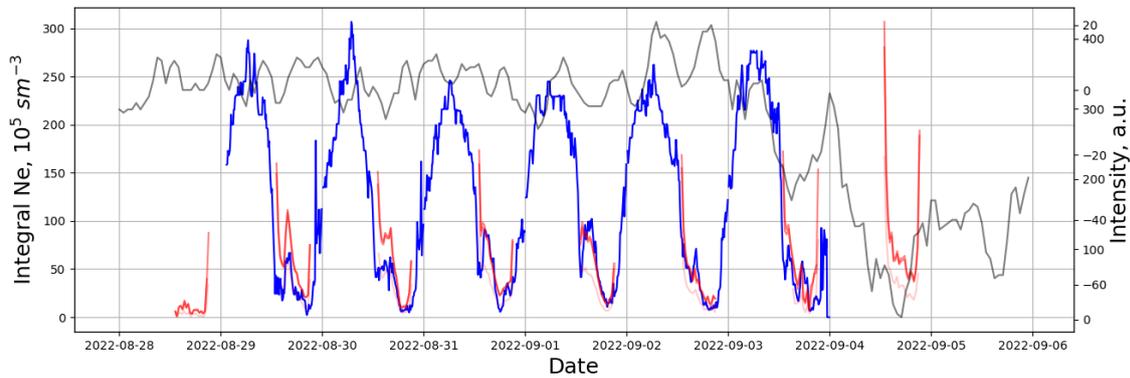


Рис. 1.3.1. Поведение интенсивности свечения 630 нм (красным), интегральной электронной концентрации в диапазоне высот  $250 \pm 25$  км (синим) и индекса DST геомагнитной активности (серым)

Отчетливо можно проследить синхронные изменения интенсивности и концентрации электронов в ночное время. Отличия в поведении могут быть обусловлены как вариациями химического состава, так и процессами, связанными, например, с ударным возбуждением состояния O(1D) приходящими из магнитосферы частицами плазмы. Кроме того, данные оптических наблюдений могут быть искажены плохими погодными условиями в тропосфере, модулирующими световой поток, приходящий из термосферы.

Достаточно важным параметром верхней атмосферы Земли, отражающим поведение такой критически важной для спутниковых систем характеристики как плотность газа в околоземном космическом пространстве, является температура. Вариации температуры воздуха, измеренной наземным интерферометром Фабри — Перо на высоте 250 км, показаны на рис. 1.3.2 (красный цвет — поведение температуры воздуха при наблюдениях в направлении севера под углом  $45^\circ$ ; фиолетовый — результаты наблюдений в зените; бледно-красный и бледно-фиолетовый — вариации температуры, полученные при помощи прототипа интерферометра Фабри — Перо, входящего в состав оптических инструментов; синий и голубой — результаты оценок ионной температуры при помощи специализированного спектрального анализа сигналов радара НР).

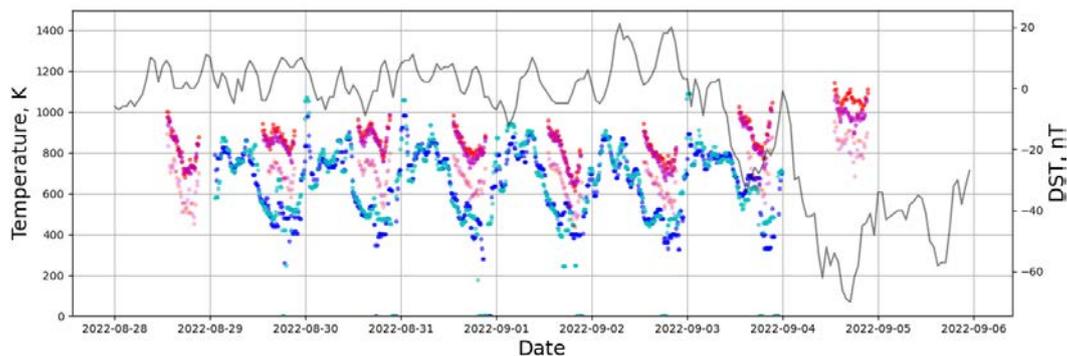


Рис. 1.3.2. Вариации температуры, полученные интерферометром Фабри — Перо (красный и фиолетовый цвета), прототипом интерферометра Фабри — Перо (бледно-красный и бледно-фиолетовый) и радаром НР (синий и голубой); поведение индекса *Dst* геомагнитной активности (серый)

Вариации температуры нейтральной компоненты, полученные интерферометром Фабри — Перо и его прототипом, а также вариации ионной температуры, полученные радаром НР должны быть одинаковыми. Существенные различия в абсолютных значениях наблюдаемых температур связаны с несовершенством текущего алгоритма обработки данных радара НР и несовершенством прототипа интерферометра. Типовые значения ионной температуры можно оценить, используя модельные данные (рис. 1.3.3).

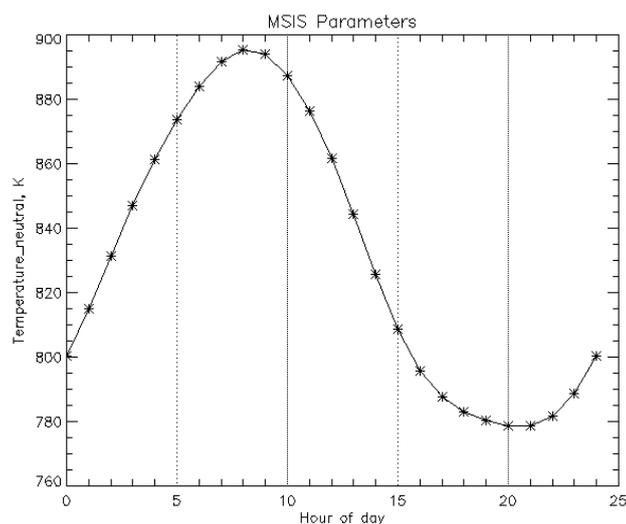


Рис. 1.3.3. Суточный ход температуры нейтральной компоненты в спокойных геомагнитных условиях вблизи даты наблюдений рис. 1.2.1 и 1.2.2 в координатах расположения интерферометра Фабри — Перо и радара НР

С 13 до 23 UT модельные температуры изменяются от 850 до 780 К с минимумом в ~21 UT. Такие же вариации температуры показывают данные наблюдений 29 августа – 3 сентября 2022 г. новыми интерферометрами Фабри — Перо. Таким образом, очевидно, что данные новых интерферометров можно использовать как репер для совершенствования процедуры обработки данных радара НР с целью определения ионной температуры. Несвершенство прототипа интерферометра можно нивелировать поправочным коэффициентом к полученной температуре, поскольку вариации температуры, полученные старым и новым устройством, идентичны.

Отдельно следует отметить воздействие на электронную концентрацию, интенсивность свечения и температуру (ионную и нейтральную) геомагнитной бури, начавшейся 3 сентября 2022 г. Вариации интенсивности и электронной концентрации в начальной фазе бури и в спокойное время практически не отличаются. Температура нейтральной компоненты в ночь с 3 на 4 сентября заметно возросла (+100 К от спокойного уровня), причем похожая тенденция к увеличению температуры в эту дату наблюдается и для ионной температуры. В ночь с 4 на 5 сентября становится заметным увеличение интенсивности свечения и температуры (+250 К от спокойного уровня). Кроме того, отчетливо заметен пространственный градиент температуры — разница нейтральных температур, наблюдаемых в направлениях на север и в зенит. К сожалению, для этой даты наблюдения на радаре НР прекратились вследствие технических особенностей установки.

В ближайшей перспективе при помощи сведений о температуре нейтральной компоненты на высоте 250 км, получаемых оптическими методами, необходимо провести доработку алгоритмов получения температуры из данных наблюдений радара НР. Это позволит восстанавливать вертикальные профили ионной температуры в термосфере и вести не зависящие от погодных условий наблюдения.

Кроме описанных выше исследований, в рамках научно-образовательного мероприятия проводились исследования параметров волновых возмущений, регистрируемых широкоугольными камерами, быстрых вариаций интенсивности свечения и полного электронного содержания в локальной области пространства.

Следует добавить, что после ввода в эксплуатацию объекта «Оптические инструменты» Национального гелиогеофизического комплекса РАН внутри Института сформировались рабочие группы для исследований по направлениям:

- Синхронные оптические, радиофизические, акустические наблюдения волновых процессов, с привлечением спутниковых методов;
- Исследование вариаций естественного свечения, электронной концентрации, темпе-

ратуры и циркуляции ночной зимней термосферы под воздействием освещенной солнцем магнитосопряженной точки;

- Исследование связи динамики спорадического E-слоя, свечения атомарного кислорода и свечения натрия в области мезопаузы при вариациях вертикальных сдвигов ветра;
- Оценка возможностей построения вертикального профиля температуры по вариациям спектрального состава эмиссии гидроксила в области мезопаузы;
- Исследование быстрых вариаций свечения высотных молниевых разрядов, связанных с приземной грозовой активностью.

Таким образом, в Институте существующее и новое оборудование вошло в комплекс инструментов для комплексного исследования вертикальных связей в атмосфере Земли и околоземном космическом пространстве по типу проекта ARASE [Blanc et al., 2018]<sup>1</sup> Европейского научного сообщества. Восстановление научных связей с КНР после снятия ограничений, связанных с эпидемией COVID-19, позволит провести представление комплекса действующих инструментов для интеграции в международный проект IMSP, развиваемый Китайской академией наук. Договоры о сотрудничестве с научными организациями РФ (ИКФИА, НПО «Гайфун», НИРФИ, и др.) дают возможность проведения совместных фундаментальных и прикладных исследований сформированным комплексом инструментов.

#### **1.4. 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 — зам. директора по научно-исследовательской работе, 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. За счет крупной апертуры будут обеспечены возможности исследований по главным направлениям:

- развитие активных областей: природа, структура и эволюция магнитного потока;
- солнечные вспышки и эруптивные события: спусковые механизмы нарушения состояния равновесия в солнечной плазме;
- связь слоев солнечной атмосферы: волны и магнитное поле;
- хромосферная динамика, магнетизм и нагрев верхних слоев атмосферы.

Современный уровень экспериментальных исследований задает высокие требования по наблюдаемым параметрам солнечной атмосферы. Пространственные масштабы наблюдения физических явлений определяются длиной свободного пробега фотона 70 км и высотой однородной атмосферы 100–140 км. Для оптического диапазона излучения для наблюдений доступны высоты солнечной атмосферы 0–2500 км, что соответствует фотосфере, температурному минимуму и хромосфере. В картинной плоскости для наблюдений пятен и их окрестностей поле зрения телескопа должно охватывать диапазон 50–150 Мм. Феноменология солнечной активности очень разнообразна по временным масштабам: 30–600 с — динамические процессы в хромосфере; 1–5 с — быстрые процессы при вспышках; 1–8 ч — эволюция и развитие активных областей и эруптивных процессов. Таким образом, современные исследования нацелены по существу на построение трехмерной структуры атмосферы Солнца с высоким разрешением. Для решения этой задачи важно получить измерения магнитного поля и скорости движения вещества с высокой точностью (10–30 Гс и 5–15 м/с), а также иметь изображения солнечной атмосферы со сравнительно высоким контрастом. Экспери-

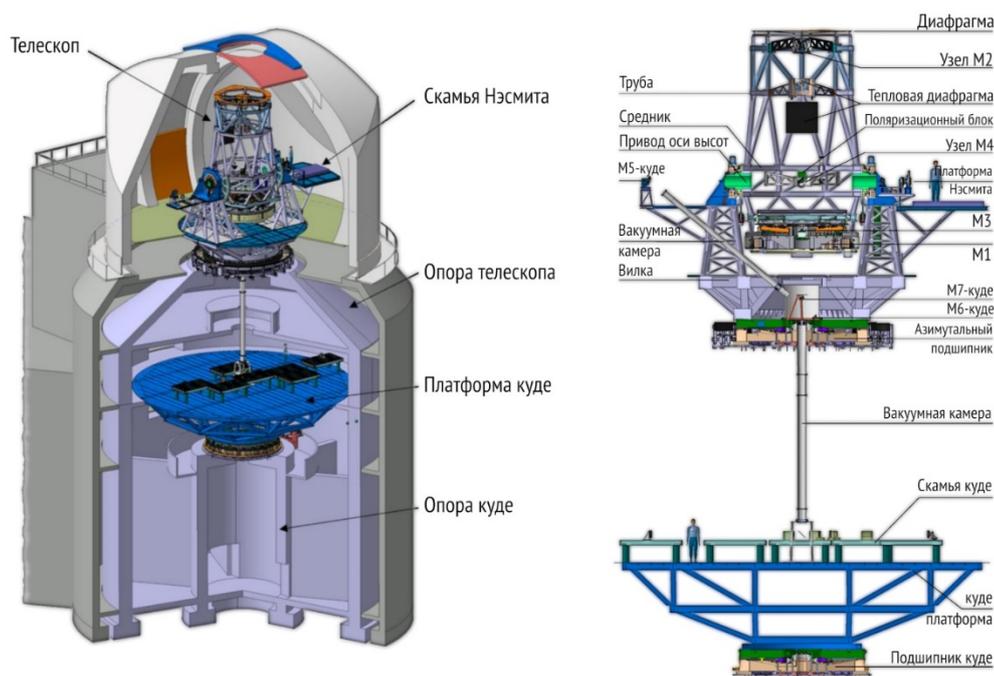
---

<sup>1</sup> Blanc E., Ceranna L., Hauchecorne A., et al. Toward an improved representation of middle atmospheric dynamics thanks to the ARISE Project (). *Surveys in Geophys.* 2018, vol. 39, iss. 2, pp. 171– 225. DOI: 10.1007/s10712-017-9444-0

мент предъявляет высокие требования к характеристикам телескопа СТК. Для получения достаточного количества света предусмотрена апертура 3 м, а оптическая система оптимизирована для работы в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Среднее угловое разрешение —  $\sim 0.1$  угл. сек ( $380 \text{ нм} - 1.5 \text{ мкм}$ ), поле зрения — 2 угл. мин. Работа в широком диапазоне параметров, необходимом для наблюдений различных масштабов в солнечной атмосфере, достигается с помощью нескольких фокальных инструментов: фильтрографов и спектрографов. Инструменты будут работать в спектрополяриметрической моде с достижением чувствительности  $10^{-4}-10^{-5}$  интенсивности непрерывного спектра. Все инструменты имеют несколько спектральных каналов и оптимизированы для одновременного наблюдения нескольких спектральных линий, что обеспечит разрешение солнечной атмосферы по высоте. Фильтровые инструменты обладают широким угловым полем зрения до 1 угл. мин, но ограничены сравнительно узким спектральным окном. Спектрографы, напротив, имеют высокое спектральное разрешение и позволяют иметь изображение спектра в сравнительно широком спектральном окне до  $20 \text{ \AA}$  и более при узком угловом поле зрения. Важно, чтобы оптическая система телескопа давала высокий коэффициент пропускания света во всем рабочем спектральном диапазоне. В проекте обеспечивается величина пропускания более 40 % в различных фокальных плоскостях. Качество изображения, даваемое оптической системой, соответствует дифракционному. В реальных условиях наблюдений при параметре Фрида 7 см комплекс активной и адаптивной оптики позволит достигать качества, близкого к дифракционному на масштабах изопланатического угла, а с применением специальных математических алгоритмов — для половины поля зрения телескопа и более.

В основные задачи СТК входит измерение вектора магнитного поля в солнечной атмосфере. Оптическая система СТК имеет осевую схему, обеспечивая рядом со вторичным фокусом практическое отсутствие инструментальной поляризации. В фокальной плоскости поляризационные искажения составляют менее 10 %. Это дает преимущество в осуществлении различных схем поляризационного анализа и применении различных методов поляризационной калибровки для достижения высокой поляриметрической точности и в конечном счете — высокой точности измерений вектора магнитного поля.

СТК — проект современного телескопа (рисунок), который полностью отвечает требованиям актуальных задач физики Солнца, обеспечивает многоволновые измерения вектора магнитного поля и движения плазмы и позволяет проводить наблюдения с высоким спектральным, пространственным и временным разрешением.



Общий вид телескопа, платформы куде, купола и опор для их размещения

## 2. Основные научные результаты

### 2.1 Исследования в области физики Солнца, радиоастрофизики и космических лучей

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

##### 2.1.1.1. Эффекты активности биполярных областей на крупномасштабное динамо в конвективной зоне

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

Исследовано влияние активности биполярных магнитных областей (БМО) на крупномасштабное динамо, распределенное в объеме конвективной зоны. В исследовании используется нелинейная трехмерная модель динамо среднего поля. Появление БМО на поверхности моделируется с использованием паркерского эффекта магнитной плавучести. Показано (рис. 2.1.1.1), что на поверхности звезды механизмы генерации полоидального магнитного поля связаны не только с общим наклоном БМО, но и с долговременной эволюцией остатков БМО. Эти процессы являются, по-видимому, важной компонентой крупномасштабного динамо Солнца.

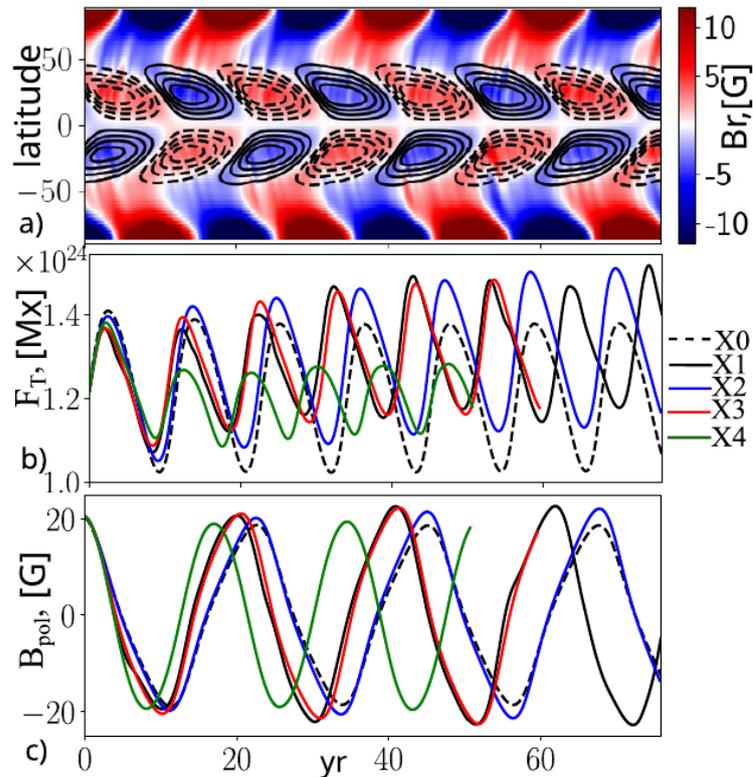


Рис. 2.1.1.1.1. Широтно-временные диаграммы эволюции тороидального магнитного поля вблизи поверхности (контуры) и эволюция радиального магнитного поля на поверхности в самом общем случае модели динамо (a); общий поток тороидального магнитного поля в конвективной зоне для разных вариантов модели (b): X0 — осесимметричная модель (без БМО), X1 — общий случай модели с учетом флуктуаций наклона БМО, X2 — модель с инъекцией азимутально ориентированных БМО; эволюция полярного магнитного поля в модели динамо (c)

#### Публикация:

Pipin V.V. On the effect of surface bipolar magnetic regions on the convection zone dynamo // MNRAS. 2022. Vol. 514, 1522. DOI:10.1093/mnras/stac1434.

### 2.1.1.2. Зависимость циклов магнитной активности от эффективной температуры звезд солнечного типа

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

Изучена роль факторов, определяющих циклы активности и дифференциальное вращение солнцеподобных звезд: эффективной температуры, характеризующей строение звезды, и скорости вращения (рис. 2.1.1.2.1). Объединенная модель солнечного дифференциального вращения и динамо применена для исследования медленного вращения звезды солнечного типа. Расчеты показывают сильную зависимость продолжительности цикла активности и скорости дифференциального вращения от эффективной температуры звезды: цикл активности сокращается, а скорость дифференциального вращения увеличивается с температурой. Вычисления также показали увеличение с эффективной температурой предельной скорости вращения для начала крупномасштабного динамо, поэтому при равных скоростях вращения эффективность динамо выше у более холодных звезд.

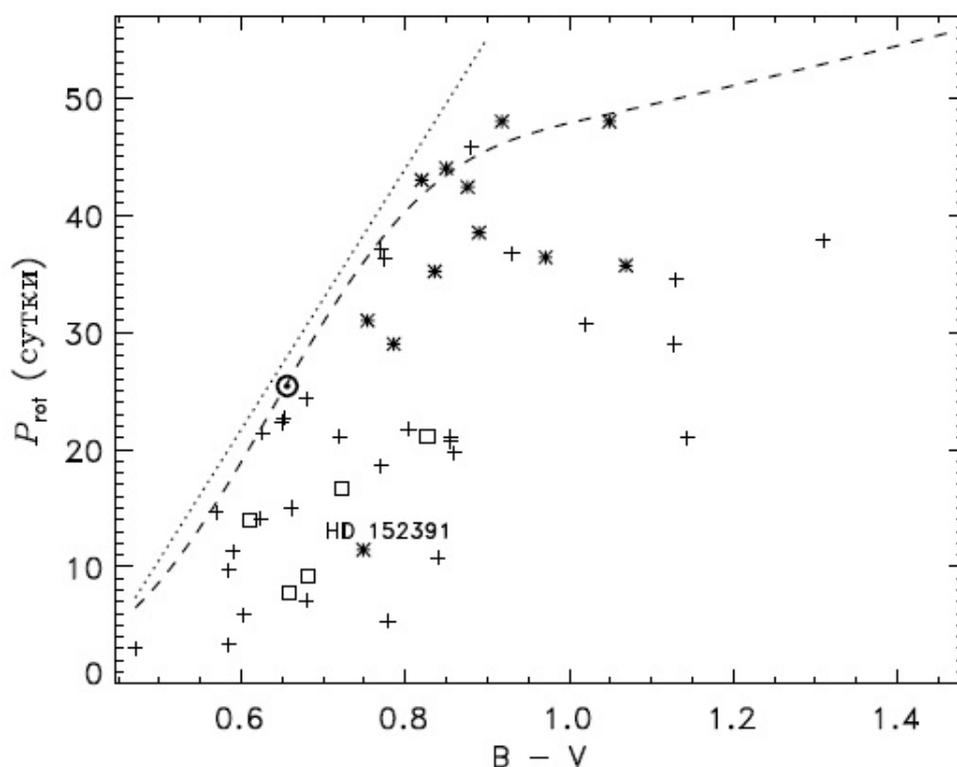


Рис. 2.1.1.2.1. Верхняя граница периода вращения подобных Солнцу звезд согласно формулам  $P_{\text{rot}} = at^n(B-V - 0.4)^b$  сут (пунктир) и  $P_{\text{max}} = 111.3(B-V - 0.405)$  сут (штрихи), где  $P_{\text{rot}}$  — период вращения;  $t$  — возраст звезды в миллионах лет;  $B-V$  — показатель цвета;  $P_{\text{max}}$  — период вращения солнцеподобных звезд. Звездочки — надежно установленные циклы, квадраты — двойные или множественные циклы, крестики — неподтвержденные циклы

#### Публикации:

1. Kitchatinov L.L. The dependence of stellar activity cycles on effective temperature // Res. Astron. and Astrophys. 2022. Vol. 22, 125006. DOI: 10.1088/1674-4527/ac9780.
2. Кичатинов Л.Л. Дифференциальное вращение и циклы активности звезд солнечного типа // Солнечная и солнечно-земная физика – 2022. Труды конференции в ГАО РАН, Санкт-Петербург, Пулковое, 3–7 октября 2022 г. С. 151–156. DOI: 10.31725/0552-5829-2022-151-156.

### 2.1.1.3. Структура и динамика магнитных полей при возникновении активных областей в период смены циклов солнечной активности 24 и 25

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головки. Авторы результата — чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. В.М. Григорьев, к.ф.-м.н. Л.В.Ермакова, к.ф.-м.н. А.И. Хлыстова.

Исследована эволюция солнечных магнитных полей в конце 24-го и начале 25-го циклов солнечной активности (январь 2019 г. — май 2021 г.). В этот период структура крупномасштабного магнитного поля (КМП) в фотосфере является наиболее «чистой» (не возмущена предыдущей активностью), что позволяет наблюдать возникновение новых структур КМП. В результате выявлено постепенное образование новых структур КМП, предшествующих появлению первых активных областей нового цикла и последних старого. Впервые показано, что большую часть этого периода преобладает меридиональная составляющая структуры КМП (рис. 2.1.1.3.1, а, б). С выходом новых структур, в которых появляются пятна нового цикла (рис. 2.1.1.3.1, в), меридиональная составляющая структуры КМП перестает преобладать. При переходе от одного цикла к другому развитие активности нового цикла и затухание старого происходит в двух узких долготных зонах (затемнены на рис. 2.1.1.3.2), при этом одновременно происходит затухание старого цикла на низких широтах и развитие нового на высоких.

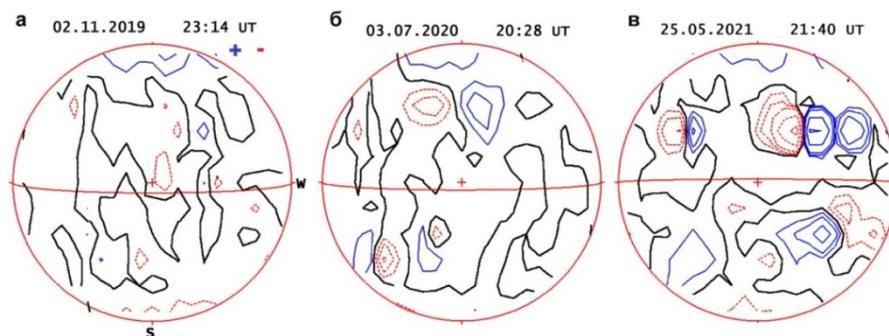


Рис. 2.1.1.3.1. Структура КМП в период смены циклов солнечной активности 24–25. Черным показаны линии раздела полярностей магнитного поля

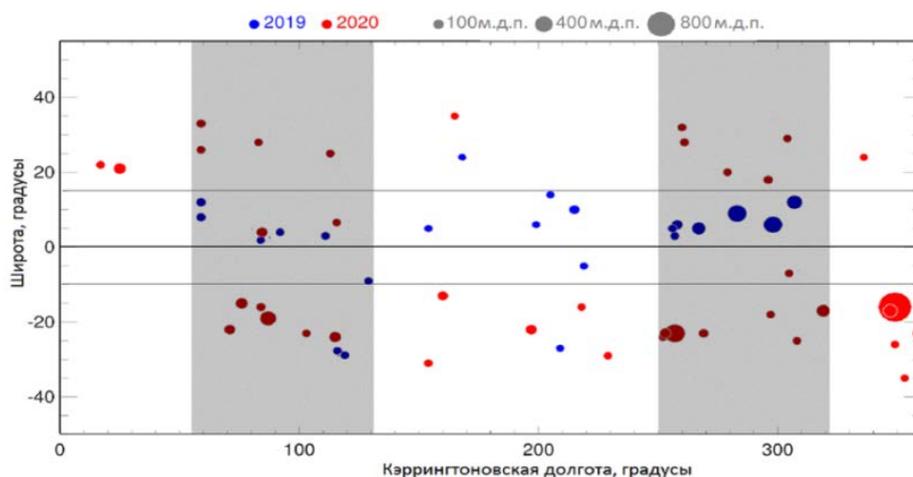


Рис. 2.1.1.3.2. Синоптическая карта активных областей. Горизонтальные линии по обе стороны от экватора разделяют активные области старого (вблизи экватора) и нового циклов

#### Публикация:

Григорьев В.М., Ермакова Л.В., Хлыстова А.И. Появление активных областей в период завершения 24-го и начала 25-го циклов активности // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 29–37. DOI: 10.12737/szf-84202202\_

#### 2.1.1.4. Влияние эмпирических граничных условий на результаты прогноза скорости солнечного ветра

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

Прогнозирование условий космической погоды является актуальной научной и практической задачей. При этом важной проблемой является надежность исходных данных — синоптических карт магнитных полей Солнца. На примере кэррингтоновского оборота CR 2164 была исследована зависимость прогностических результатов от исходных данных с привлечением наблюдений на Солнечном телескопе оперативных прогнозов Саянской солнечной обсерватории (СТОП ССО), а также на инструментах Wilcox Solar Observatory (WSO) и Global Oscillation Network Group (GONG). Расчеты были основаны на модели WSA и включали определение параметров коронального магнитного поля в приближении PFSS. Распространение солнечного ветра до орбиты Земли рассчитывалось с использованием модели HUX (Heliospheric Upwind eXtrapolation).

Получено, что различие в скоростях солнечного ветра по разным наборам данных может быть весьма существенным и превышать 150 км/с. Сравнение показало хорошее совпадение данных спутника ACE с результатами СТОП ССО и WSO на одних кэррингтоновских долготах и GONG — на других (рис. 2.1.1.4.1).

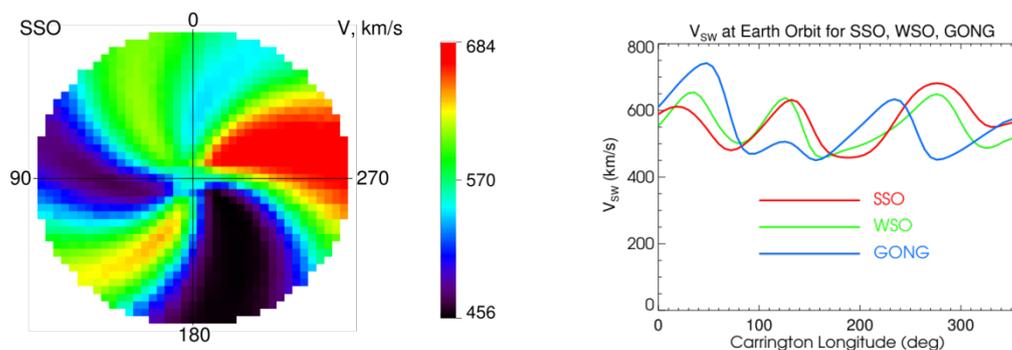


Рис. 2.1.1.4.1. Рассчитанное по данным СТОП ССО распределение скорости солнечного ветра от Солнца до орбиты Земли в полярных координатах для CR 2164 (левая панель). Сравнение распределений по кэррингтоновским долготам скоростей солнечного ветра у Земли, рассчитанных по синоптическим картам СТОП ССО, WSO, GONG (правая панель)

#### Публикация:

Demidov M.L. On the role of empirical boundary conditions in space weather prediction results // Proc. Science. 2022. Vol. 425. DOI:10.22323/1.425.004.

### 2.1.2. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца

#### 2.1.2.1. Наблюдательное подтверждение сценария возбуждения ударных волн в солнечной короне импульсно ускоряющимся магнитным жгутом

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. В.В. Гречнев, к.ф.-м.н. В.И. Киселев, д.ф.-м.н. А.М. Уралов, к.ф.-м.н. И.И. Мышьяков

Ударные волны в солнечной короне наблюдались неоднократно (см. рис. 2.1.2.1.1). Они ответственны за формирование радиовсплесков II типа и считаются наиболее вероятным фактором ускорения солнечных космических лучей. В то же время происхождение ударных волн остается предметом дискуссий.

Были исследованы несколько событий с ударными волнами, наблюдавшихся с помощью различных инструментов в рентгеновском, УФ, оптическом и радиодиапазонах. Показано, что все наблюдения согласуются с единственным сценарием — возбуждением ударных волн импульсно ускоряющимися эруптивными структурами (магнитными жгутами). Установлено, что импульсное ускорение эруптивной структуры совпадает с фазой формирования полноценного магнитного жгута и максимальным темпом возрастания его объема. Расширение жгута генерирует поршневую волну, которая быстро становится ударной. В событиях с корональными выбросами массы (КВМ) импульсное ускорение эруптивной структуры и образование поршневой волны происходят внутри формирующегося выброса, а последующая эволюция ударной волны определяется скоростью КВМ. Показано, что альтернативные сценарии возбуждения ударных волн не могут объяснить весь комплекс наблюдаемых явлений. Полученные результаты позволяют лучше понять природу солнечных эруптивных событий и открывают возможность усовершенствования методов прогноза таких факторов космической погоды, как КВМ и всплески солнечных космических лучей.

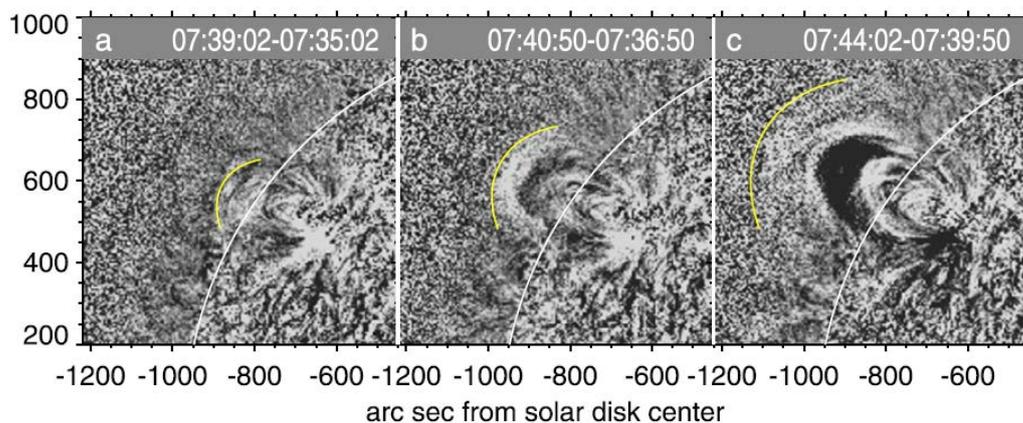


Рис. 2.1.2.1.1. Ударная волна в солнечной короне, наблюдавшаяся 28 февраля 2011 г. в УФ-диапазоне (SDO/AIA, 211 Å). Приведены разностные изображения в последовательные моменты времени; желтой дугой показан внешний край ударной волны

#### Публикации:

1. Grechnev V.V., Kiselev V.I., Uralov A.M. Reconciling observational challenges to the impulsive-piston shock-excitation scenario. I. Kinematic challenges // *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, id. 106. DOI: 10.1007/s11207-022-02041-1.

2. Grechnev V.V., Kiselev V.I., Uralov A.M., Myshyakov I.I. Reconciling observational challenges to the impulsive-piston shock-excitation scenario. II. Shock waves produced in CME-less events with a null-point topology // *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, id. 123. DOI: 10.1007/s11207-022-02061-x.

#### 2.1.2.2. Идентификация механизмов ускорения солнечных космических лучей

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. В.И. Киселев, к.ф.-м.н. Н.С. Мешалкина, д.ф.-м.н. В.В. Гречнев.

Ускоренные протоны солнечного происхождения являются одним из основных факторов, определяющих космическую погоду в околоземном пространстве. Механизм ускорения этих частиц пока точно не установлен; предполагается, что ускорение может происходить во вспышках и/или в ударных волнах на фронтах корональных выбросов массы. Авторами результата было проведено статистическое исследование 30 солнечных протонных событий, наблюдавшихся в 1991–2006 гг.; параметры ускоренных протонов сопоставлялись с результатами наблюдений в жестком рентгеновском диапазоне и параметрами КВМ. Наблюдавшиеся ускоренные протоны характеризовались двойным степенным

спектром. Было установлено (см. рис. 2.1.2.2.1) следующее: а) на высоких энергиях спектральный индекс протонов демонстрирует значительную корреляцию со спектральным индексом рентгеновского излучения (генерируемого во вспышках); б) на более низких энергиях спектральный индекс протонов демонстрирует значительную корреляцию со скоростью КВМ. Эти результаты указывают на преобладающий вклад ускорения во вспышках на высоких энергиях (50–400 МэВ) и ускорения в ударных волнах на низких энергиях (до 50 МэВ). Полученные результаты открывают возможность создания единой непротиворечивой теоретической модели ускорения космических лучей.

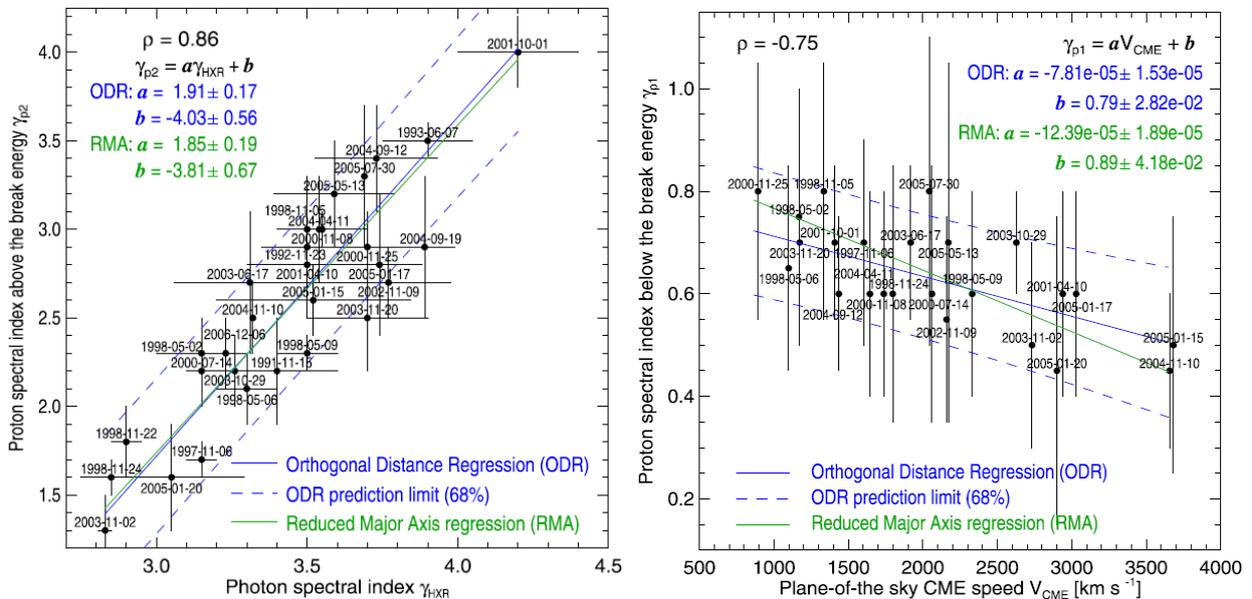


Рис. 2.1.2.2.1. Результаты статистического исследования солнечных протонных событий: слева — зависимость высокоэнергетического спектрального индекса ускоренных протонов от спектрального индекса жесткого рентгеновского излучения; справа — зависимость низкоэнергетического спектрального индекса ускоренных протонов от видимой скорости КВМ

### Публикация:

Kiselev V.I., Meshalkina N.S., Grechnev V.V. Relationships between the spectra of near-earth proton enhancements, hard X-ray bursts, and CME speeds // Solar Phys. 2022. Vol. 297, id. 53. DOI: 10.1007/s11207-022-01986-7.

### 2.1.2.3. Многоволновые наблюдения вспышек в звездной системе AT Mic

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<sup>1</sup>, Р.Р. Каракотов<sup>1</sup>, К. Chandrashekhara<sup>2</sup>, D. Banerjee<sup>3</sup>

1 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 2 — University of Oslo, Norway; 3 — Aryabhata Research Institute of Observational Sciences, Nainital, India

Исследование солнечно-звездных аналогий и сравнительный анализ активных процессов на Солнце и других звездах дают возможность лучше понять природу солнечной и звездной активности. Авторами результата был проведен анализ наблюдений звездной системы AT Mic (состоящей из двух активных красных карликов спектрального класса dM4.5e), выполненных орбитальной обсерваторией AstroSat индийского космического агентства. За шесть часов наблюдений в УФ (130–180 нм) и мягком рентгеновском (0.3–7 кэВ) диапазонах было зарегистрировано как излучение в спокойном состоянии, так и как минимум пять вспышек на различных компонентах системы. Большинство вспышек в рентгеновском диапазоне запаздывали (на 5–6 мин) по отношению к вспышкам в УФ-диапазоне, демонстрируя эффект Ньюперта. Анализ рентгеновских спектров указывает на

наличие горячей многотемпературной плазмы с температурами в диапазоне 7–15 МК и мерой эмиссии  $\sim (3-5) \times 10^{52} \text{ см}^{-3}$ . Температура и мера эмиссии возрастали во время вспышек. Энергии зарегистрированных вспышек составляли порядка  $10^{31}$ – $10^{32}$  эрг; как и на Солнце, излучаемая энергия приходилась в основном на оптический континуум (60–65 % всей энергии вспышек). Анализ соотношений энергии и длительности вспышек (рис. 2.1.2.3.1) показал, что размеры активных областей на АТ Мис (порядка 35–70 Мм) сопоставимы с крупнейшими солнечными активными областями. В то же время средние магнитные поля во вспышечных областях на АТ Мис (порядка 80–120 Гс) оказались в 1.5–2 раза сильнее, чем в типичных вспышечных областях на Солнце; данная особенность указывает на относительно низкую вероятность возникновения супервспышек на Солнце.

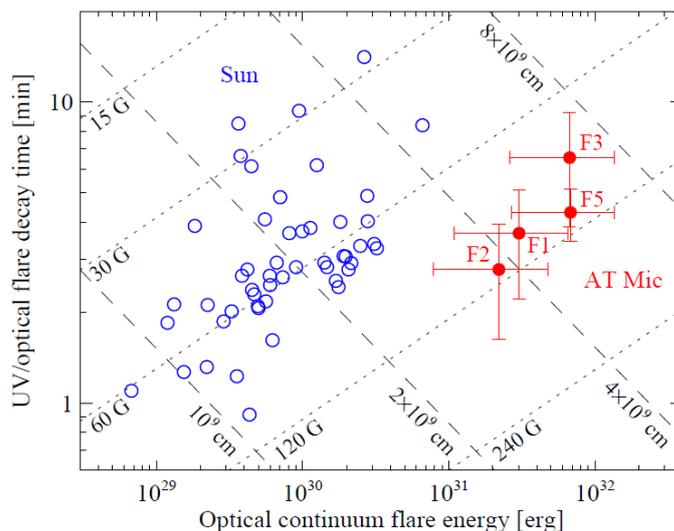


Рис. 2.1.2.3.1. Сравнение характеристик вспышек на Солнце и АТ Мис: соотношение длительностей вспышек (в УФ-диапазоне / белом свете) и их эквивалентных энергий в оптическом континууме. Значения магнитного поля и размеры активных областей показаны изолиниями

#### Публикация:

Kuznetsov A.A., Karakotov R.R., Chandrashekhara K., Banerjee D. X-ray and ultraviolet flares on AT Microscopii observed by AstroSat // Res. Astron. and Astrophys. 2022. DOI: 10.1088/1674-4527/aca190.

#### 2.1.2.4 Динамика колебаний за время жизни факельной области

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

Квазипериодические колебания в солнечном излучении (в разных спектральных диапазонах) отражают волновые и колебательные процессы в солнечной атмосфере и могут быть использованы как важный диагностический инструмент. В рамках проекта было проведено исследование колебаний в солнечных факелах с использованием наблюдений SDO в УФ-диапазоне; рассматривались пять факельных площадок, три из которых принадлежали началу текущего 25-го цикла солнечной активности, а две — концу предыдущего 24-го. Обнаружено, что на ранних стадиях формирования факелов в 25-м цикле преобладали низкочастотные колебания с частотами 1–2 мГц, в то время как в 24-м цикле преобладали 5-минутные колебания. Установлено, что в максимальной фазе развития факелов области локализации низкочастотных колебаний расположены близко к основаниям корональных петель (рис. 2.1.2.4.1.); данные результаты подтверждают модель, в которой источники низкочастотных колебаний в корональных петлях лежат в основании этих петель.

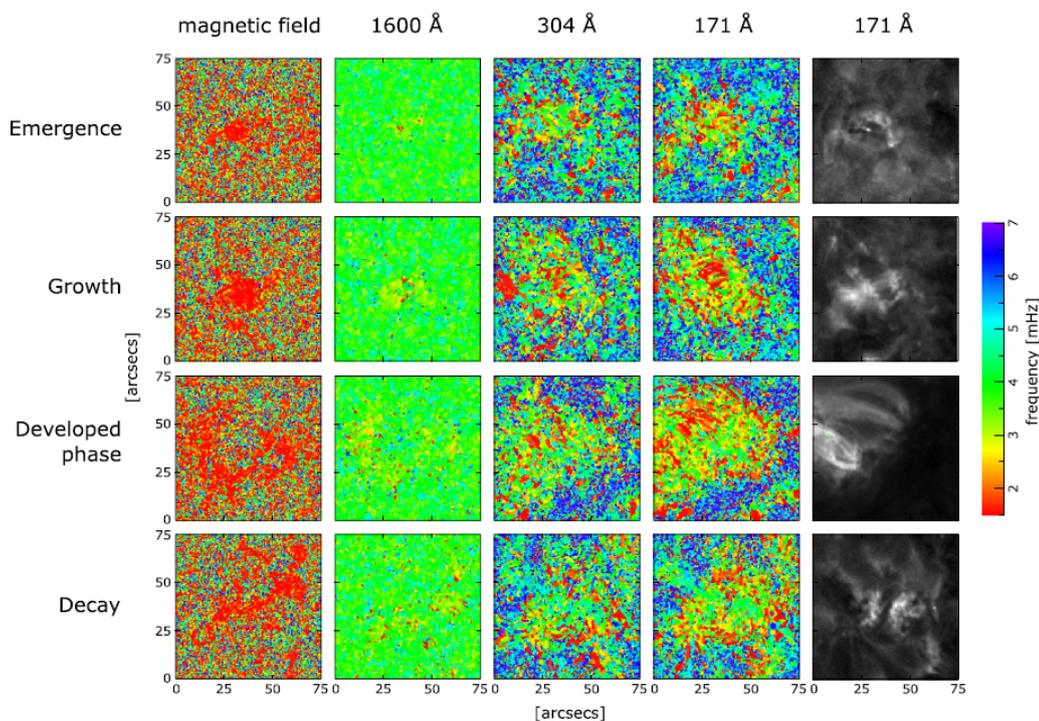


Рис. 2.1.2.4.1 Пространственное распределение областей локализации колебаний с различными частотами и корональные петли на разных стадиях развития факельной площадки, наблюдавшейся 9–12 декабря 2019 г.

#### Публикация:

Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Oscillation dynamics in short-lived facular regions during their lifetime // *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, no. 5. P. 52. DOI: 10.1007/s11207-022-01988-5.

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

#### 2.1.3.1. Оптические наблюдения космического мусора. Результаты анализа фотометрических характеристик

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, к.ф.-м.н. М.В. Еселевич.

Оптические наблюдения космического мусора регулярно выполняются на телескопах Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН. Представлены результаты фотометрических измерений высокоорбитальных объектов космического мусора, анализ которых позволяет получить информацию об их размере, форме и параметрах собственного вращения.

Получены фазовые зависимости для верхней ступени Titan 3C Transtage 17 после разрушения 28.02.2018 и для целых объектов аналогичной конструкции в широком диапазоне фазовых углов, что позволило оценить уменьшение эффективной площади отражения в результате разрушения — 43 % (рис. 2.1.3.1.1). Определены периоды собственного вращения родительского тела (1.8 с) и наиболее крупного фрагмента (3.02 с). Основная часть объектов, связанных с разрушением, имеют высокую скорость вращения, что не позволяет определить период их вращения.

В 2020–2022 гг. проведены измерения периода собственного вращения КА «Спектр-Р», завершившего выполнение целевых задач в январе 2019 г. и являющегося в данный момент крупным объектом космического мусора. Определены периоды вращения других объектов космического мусора в области геостационарной и средневысотных орбит.

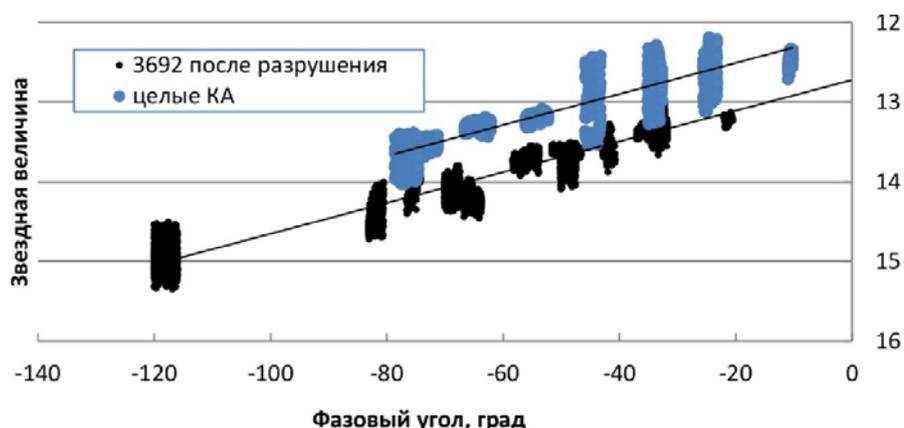


Рис. 2.1.3.1.1. Фазовые зависимости для разрушившегося объекта Titan 3C Transtage 17 (NORAD № 3692) и целых объектов аналогичной конструкции

### Публикация:

Коробцев И.В., Мишина М.Н., Еселевич М.В. Фотометрические и траекторные наблюдения околоземных космических объектов в Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН // Научные труды ИНАСАН. 2022. Т. 7, вып. 1. С. 36–40. DOI: 10.51194/INASAN.2022.7.1.006.

### 2.1.3.2. Исследование вклада каскадной эмиссии в послесвечение гамма-всплеска GRB 110213A

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата — Xiang-Gao Wang<sup>1, 2</sup>, Yuan-Zhuo Chen<sup>1, 2</sup>, Xiao-Li Huang<sup>3</sup>, Liang-Jun Chen<sup>1, 2</sup>, WeiKang Zheng<sup>4</sup>, Valerio D'Elia<sup>5, 6</sup>, Massimiliano De Pasquale<sup>7</sup>, А.С. Позаненко<sup>8, 9, 10</sup>, Li-Ping Xin<sup>11</sup>, Giulia Stratta<sup>12, 13, 14</sup>, Tilan Ukwatta<sup>15</sup>, Carl Akerlof<sup>16</sup>, Jin-Jun Geng<sup>17</sup>, Xu-Hui Han<sup>11</sup>, Veli-Pekka Hentunen<sup>18</sup>, Е.В. Клунко<sup>19</sup>, N. Paul M. Kuin<sup>20</sup>, Markku Nissinen<sup>18</sup>, W. Rujopakarn<sup>21</sup>, В.В. Румянцев<sup>22</sup>, Е.С. Рыков<sup>23</sup>, Tuomo Salmi<sup>18</sup>, В.Е. Schaefer<sup>24</sup>, А.А. Волнова<sup>25</sup>, Xue-Feng Wu<sup>26</sup>, Jian-Yan Wei<sup>11</sup>, En-Wei Liang<sup>1, 2</sup>, Bing Zhang<sup>27, 28</sup>, А.В. Филиппенко<sup>4</sup>.

1 — Guangxi Key Laboratory for Relativistic Astrophysics, School of Physical Science and Technology, Guangxi University, People's Republic of China; 2 — GXU-NAOC Center for Astrophysics and Space Sciences, People's Republic of China; 3 — School of Physics and Electronic Science, Guizhou Normal University, People's Republic of China; 4 — Department of Astronomy, University of California, Berkeley, USA; 5 — ASI-Space Science Data Centre, Italy; 6 — INAF Osservatorio Astronomico di Roma, Italy; 7 — Department of Mathematics, Informatics, Physical and Geophysical Sciences, University of Messina, Italy; 8 — ИКИ РАН; 9 — Высшая школа экономики; 10 — МФТИ; 11 — CAS Key Laboratory of Space Astronomy and Technology, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, People's Republic of China; 12 — INAF-IAPS, Italy; 13 — INAF-OAS, Italy; 14 — INFN Roma La Sapienza, Italy; 15 — Department of Physics and Astronomy, Michigan State University, USA; 16 — University of Michigan, Randall Laboratory of Physics, USA; 17 — School of Astronomy and Space Science, Nanjing University, Nanjing, People's Republic of China; 18 — Taurus Hill Observatory, Finland; 19 — ИСЗФ СО РАН; 20 — Mullard Space Science Laboratory, University College London, UK; 21 — Steward Observatory, The University of Arizona, Tucson, USA; 22 — КрАО РАН; 23 — SLAC National Accelerator Laboratory, USA; 24 — Department of Physics & Astronomy, USA; 25 — ИКИ РАН; 26 — Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, People's Republic of China; 27 — Nevada Center for Astrophysics, University of Nevada, USA; 28 — Department of Physics and Astronomy, University of Nevada, USA.

В работе приводятся результаты анализа фотометрических наблюдений гамма-всплеска GRB 110213A, включающих многоцветные оптические наблюдения на наземных телескопах, а также наблюдения спутника Swift в оптическом и рентгеновском диапазонах. Пятнадцать оптических кривых блеска имеют схожую форму с двумя выраженными пиками блеска на ранних этапах развития события. Наоборот, в рентгене присутствует только один пик, расположенный между двумя оптическими (рис. 2.1.3.1.2).

Аналогичным образом различаются спектры в рентгене и оптическом диапазоне. Это указывает на преобладание различных механизмов генерации излучения в оптическом и рентгеновском диапазонах. Модель излучения на основе механизмов первичного синхротронного излучения и синхротронного комптоновского излучения (англ. synchrotron self-Compton, SSC) была дополнена механизмом каскадной эмиссии от синхротронного излучения. Результаты показывают, что на ранних этапах в оптическом диапазоне преобладает вклад каскадной эмиссии от синхротронного излучения плюс SSC, в то время как в рентгене — первичного синхротронного излучения плюс SSC. На поздних стадиях в обоих случаях преобладает первичное синхротронное излучение плюс SSC.

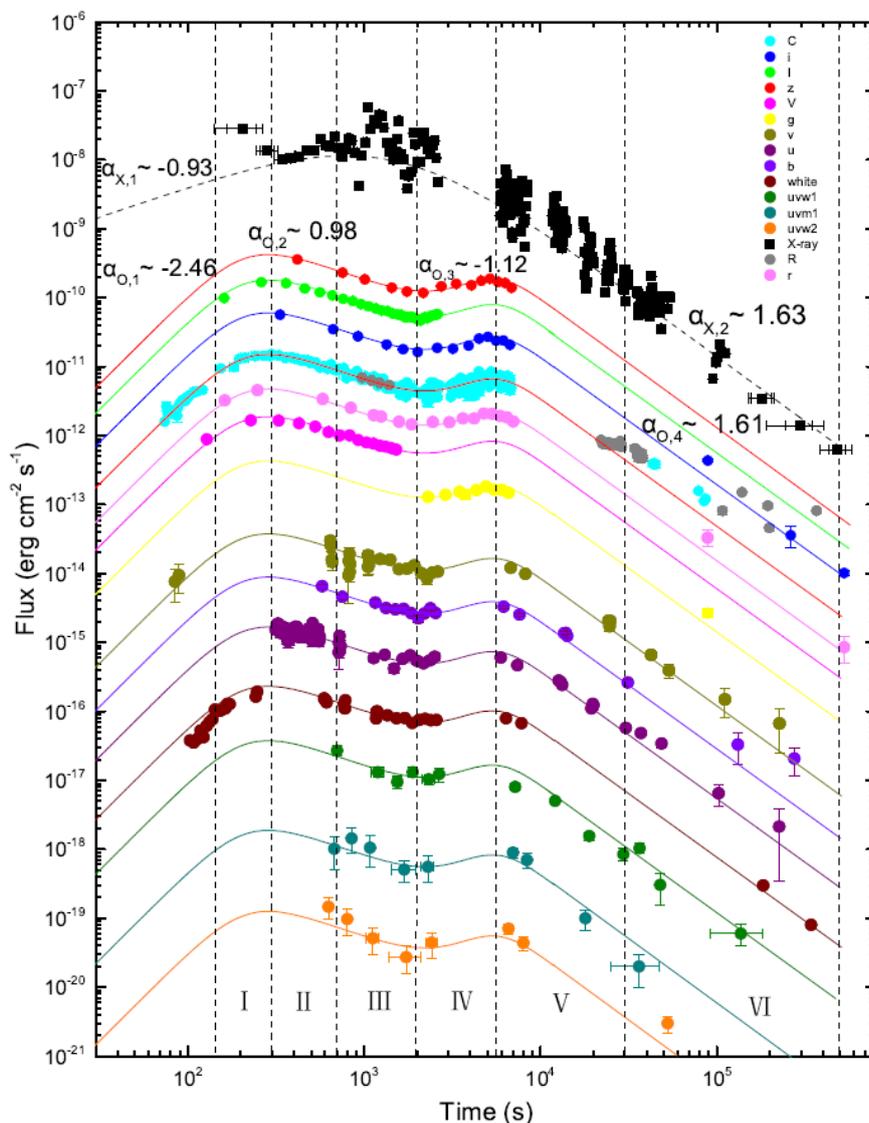


Рис. 2.1.3.1.2. Кривые блеска GRB 110213A в рентгеновском (Swift) и оптическом диапазонах (Swift и наземные телескопы). Линиями показаны результаты аппроксимации точек измерений степенной функцией с изломом (для рентгена) либо степенной функцией с двумя изломами (для оптического диапазона)

#### Публикация:

Wang X.-G., Chen Y.-Z., Huang X.-L., Chen L.-J., Zheng W.K., D'Elia V., Pasquale M.De, Pozanenko A.S., Xin L.-P., Stratta G., Ukwatta T., Akerlof C., Geng J.-J., Han X.-H., Hentunen V.-P., Klunko E.V., Kuin N.P.M., Nissinen M., Rujopakarn W., Rummyantsev V.V., Rykoff E.S., Salmi T., Schaefer B.E., Volnova A.A., Wu X.-F., Wei J.-Y., Liang E.-W., Zhang B., Filippenko A.V. GRB 110213A: a study of afterglow electromagnetic cascade radiation // *Astrophys. J.* 2022. Vol. 939, 39. DOI: 10.3847/1538-4357/ac937c.

### 2.1.3.3. Джет загадочной высокоширотной звезды BP Psc и эволюционный статус источника

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель — к.ф.-м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата — И.С. Потравнов<sup>1</sup>, М.Ю. Ховричев<sup>2</sup>, С.А. Артеменко<sup>3</sup>, Д.Н. Шаховской<sup>3</sup>.

1 — ИСЗФ СО РАН; 2 — ГАО РАН; 3 — КрАО РАН

На основе  $H\alpha$ -изображений из архива 8.1-метрового телескопа Gemini-North и оригинальных наблюдений, полученных с помощью 6-метрового телескопа БТА и многорежимного фокального редуктора SCORPIO с разницей эпох в 13.5 лет, выполнено исследование собственных движений и лучевых скоростей в джете высокоширотной звезды с неясным эволюционным статусом BP Psc (рис. 2.1.3.1.3). Мы измерили полную пространственную скорость узлов в джете, достигающую 140 км/с, и с учетом известного угла наклона впервые оценили расстояние до системы как  $D = 135 \pm 40$  пк (рис. 2.1.3.1.4). Положение звезды на диаграмме Герцшпрунга — Рассела соответствует молодой звезде Т Тельца возрастом  $\sim 7$  млн лет и массой  $M \approx 1.3M_{\odot}$ . Физические параметры в узлах джета BP Psc и верхняя оценка темпа потери массы  $\dot{M}_{\text{out}} < 1.2 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$  типичны для низкоионизованных молодых звездных джетов и согласуются с магнитоцентрифужным механизмом его запуска и коллимации. Яркостная асимметрия между двумя лепестками джета и его «закрученная» морфология указывают на прецессию внутреннего диска BP Psc под приливным воздействием вторичного субзвездного компаньона на некомпланарной орбите. Наиболее вероятная оценка массы компаньона составляет  $M_s \approx 30M_{\text{Jup}}$ . Мы считаем, что BP Psc является одной из ближайших к Солнцу молодых звезд Т Тельца с джетом. Объект является перспективным для дальнейшего изучения области перехода дискового ветра в джет с помощью современных методов высокого углового разрешения и спектрополяриметрии.

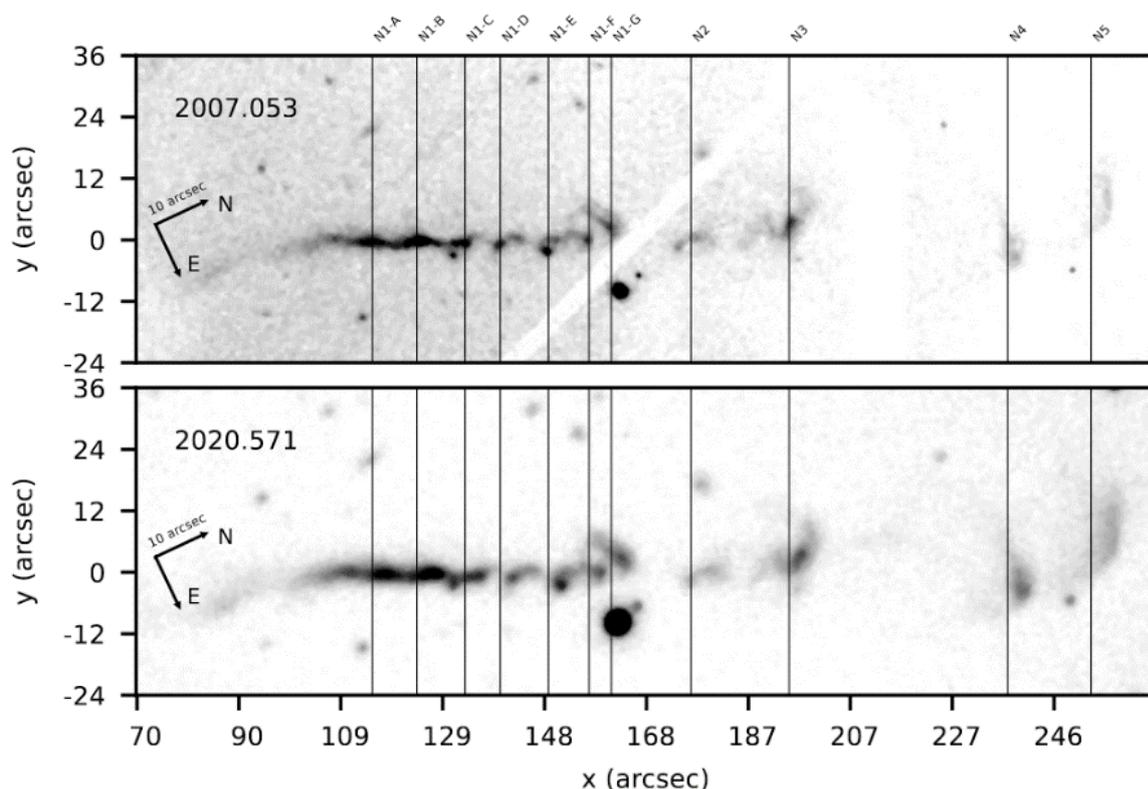


Рис. 2.1.3.1.3.  $H\alpha$ -изображения северо-восточного лепестка джета BP Psc. Звезда-источник находится в начале координат и не показана

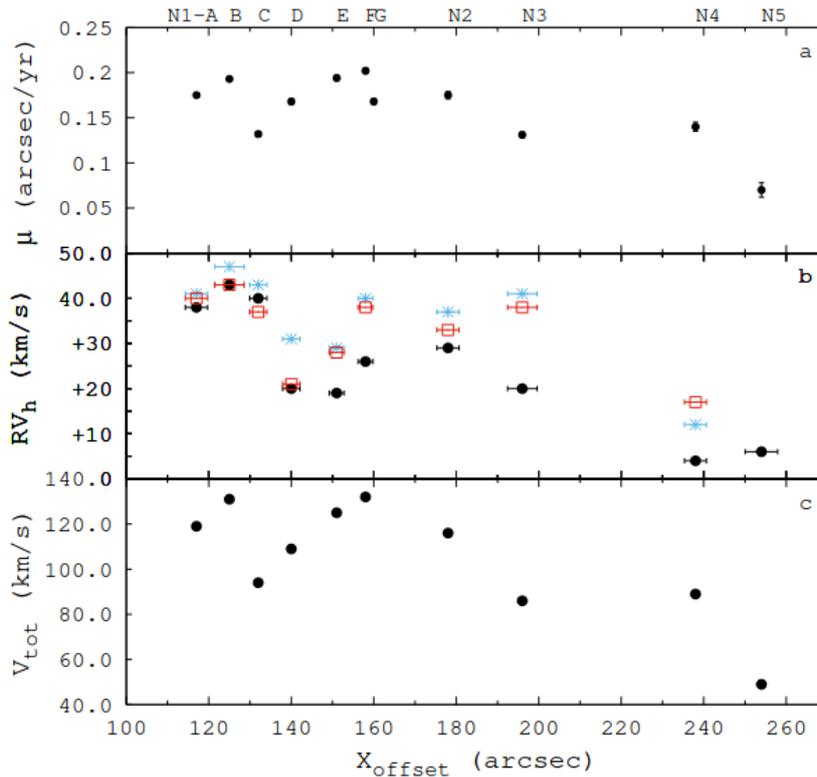


Рис. 2.1.3.1.4. Собственные движения и скорости в узлах северо-восточного джета BP Psc

**Публикация:**

Potravnov I.S., Khovritchev M.Yu., Artemenko S.A., Shakhovskoy D.N. Jet from the enigmatic high-latitude star BP Psc and evolutionary status of its driving source // MNRAS. 2022. Vol. 516, iss. 4. P. 5863. DOI: 10.1093/mnras/stac2667.

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

**2.1.4.1. Расширение метода спектрографической глобальной съемки**

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, д.ф.-м.н. С.В. Олемской, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

Представлен модифицированный метод спектрографической глобальной съемки для разделения вариаций космических лучей (КЛ) на составляющие межпланетного, магнитосферного и атмосферного происхождения по данным наземных наблюдений интенсивности КЛ. Показана возможность использования для исследований всего имеющегося комплекса наземной аппаратуры, регистрирующей КЛ (мировой сети нейтронных мониторов, расположенных на разных высотах, наземных и подземных мезонных телескопов и т. д.), без привлечения данных аэрологического зондирования атмосферы. В качестве демонстрации работоспособности метода спектрографической глобальной съемки приведены результаты расчетов вариаций изотропного потока, питч-угловой анизотропии первичных КЛ в межпланетном пространстве, изменения планетарной системы жесткостей геомагнитного обрезания за каждый час наблюдений, а также температуры атмосферы в пункте наблюдения заряженных компонент КЛ за выбранные периоды (см. рис. 2.1.4.1.1).

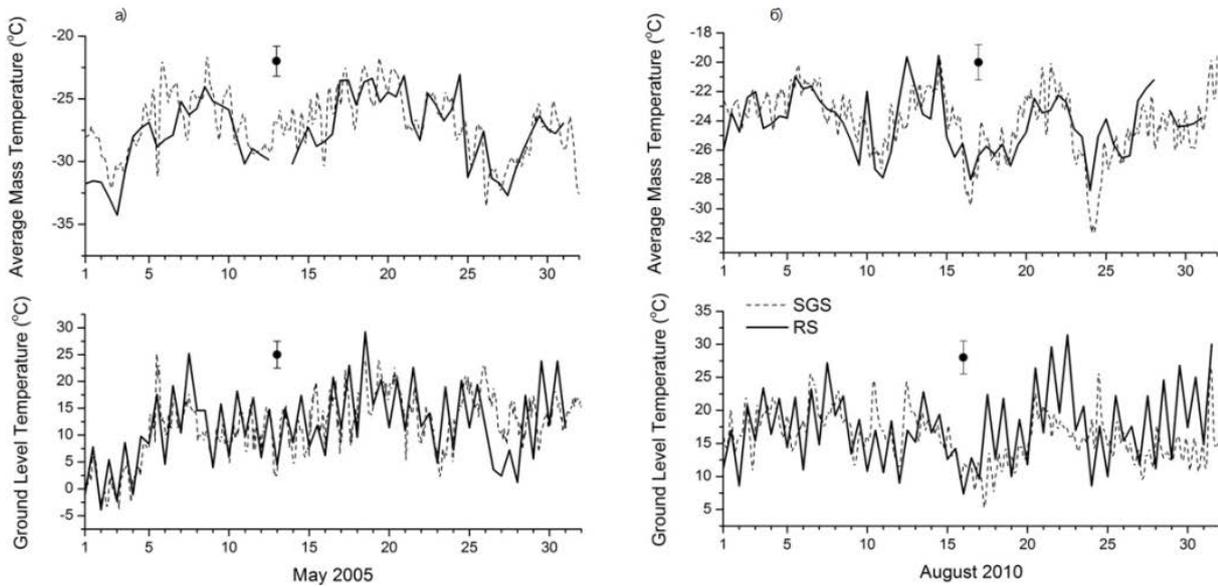


Рис. 2.1.4.1.1. Временной ход среднемассовой (сверху) и приземной (снизу) температуры на станции КЛ в Новосибирске в мае 2005 г. (а) и августе 2010 г. (б): сплошная линия — данные аэрологического радиозондирования, штриховая — данные расширенного метода СГС. На панелях показаны ошибки в расчетных значениях из-за статистических погрешностей данных наблюдений интенсивности КЛ

#### Публикация:

Kovalev I.I., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. A proposal to extend the spectrographic global survey method // J. Atmos. and Solar-Terr. Phys. 2022. Vol. 235, 105887. DOI: 10.1016/j.jastp.2022.105887.

#### 2.1.4.2. Питч-угловая анизотропия и дифференциальные жесткостные спектры космических лучей во время GLE 2 и 6 мая 1998 г.

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. А.А. Луковникова, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

Методом спектрографической глобальной съемки на основе данных наземных измерений КЛ на мировой сети станций нейтронных мониторов (39 нейтронных мониторов) исследованы питч-угловая анизотропия и дифференциальные жесткостные спектры космических лучей во время наземных возрастаний 2 и 6 мая 1998 г (GLE56 и GLE57 соответственно). Получены дифференциальные жесткостные спектры солнечных КЛ в исследуемые периоды. Определены максимальные жесткости, до которых произошло ускорение протонов в этих событиях (см. рис. 2.1.4.2.1). Максимальная жесткость ускоренных частиц во время наземного возрастания 2 мая составила  $\sim 2.4$  ГВ, 6 мая —  $\sim 1.8$  ГВ. Обнаруженная двунаправленная анизотропия свидетельствует о нахождении Земли в петлеобразной структуре ММП типа магнитной ловушки и в первом, и во втором событиях.

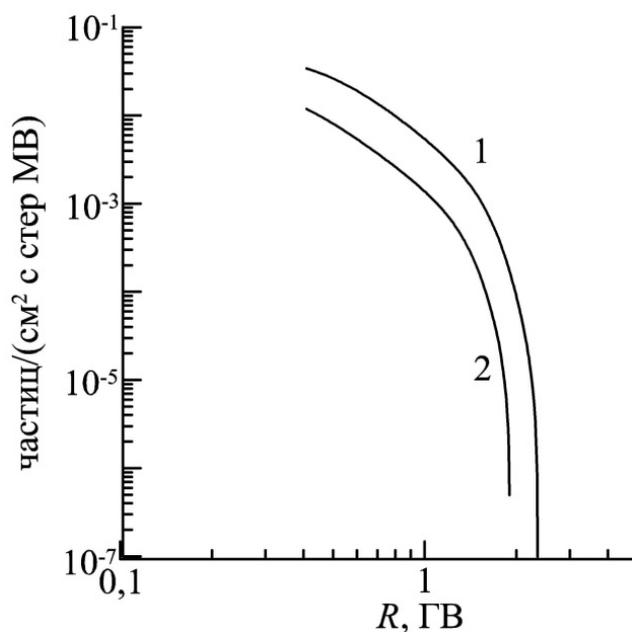


Рис. 2.1.4.2.1. Дифференциальные жесткостные спектры солнечных КЛ на границе атмосферы Земли во время GLE56 (кривая 1) и GLE57 (кривая 2)

**Публикация:**

Луковникова А.А., Сдобнов В.Е. Питч-угловая анизотропия и дифференциальные жесткостные спектры космических лучей во время GLE 2 и 6 мая 1998 г. // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 29–33. DOI: 10.12737/szf-82202204.

**2.1.4.3. Условия прихода солнечных энергетических протонов на Землю после мощных вспышек на Солнце**

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 — д.ф.-м.н. Г.Н. Кичигин<sup>†</sup>, к.ф.-м.н. М.В. Кравцова, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

Проведен анализ процесса переноса от Солнца до Земли энергичных протонов, ускоренных в солнечных вспышках. Используется модель, в которой предполагается, что протоны движутся к Земле в электромагнитном поле паркеровского представления. В рамках этой модели показано, что регистрация протонов на Земле происходит в том случае, когда протоны, движущиеся от вспышечной области Солнца, попадают в окрестность гелиосферного токового слоя, а Земля находится от нейтральной линии токового слоя на расстоянии, меньшем ларморовского радиуса протонов. Представлен анализ экспериментальных данных о солнечных вспышках в августе–сентябре 2011 г. (см. рис. 2.1.4.3.1), из которого следует, что отсутствие регистрации энергичных протонов в окрестности Земли для некоторых мощных солнечных вспышек находит объяснение в рамках предложенной модели.

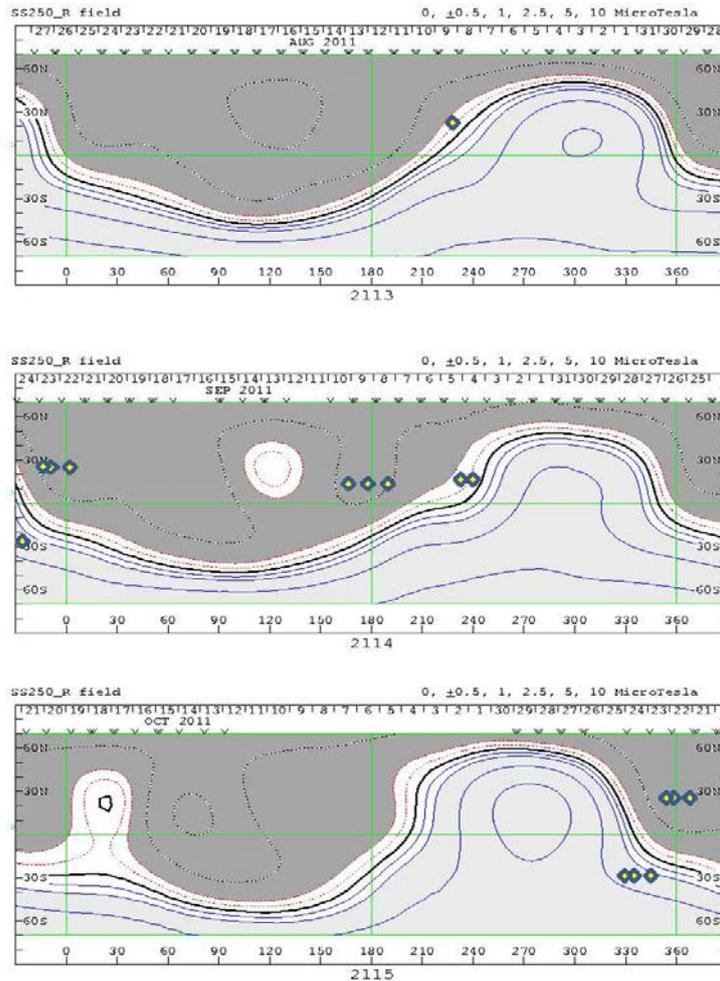


Рис. 2.1.4.3.1. Карта коронального магнитного поля Солнца [http://wso.stanford.edu/synsource]. Синие изолинии и светло-серый цвет — области положительной полярности, черный — нейтральная линия. Ромбы — координаты вспышек мощностью не меньше класса M1 на долготах, откуда исходят сопряженные с Землей силовые линии ММП

**Публикация:**

Кичигин Г.Н., Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Условия прихода солнечных энергичных протонов на землю после мощных вспышек на Солнце // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 24–28. DOI: 10.12737/szf-83202203.

**2.1.4.4. Комплексы активности и корональные дыры на Солнце: феноменология связи**

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 — д.ф.-м.н. С.А. Язев<sup>1, 2</sup>, к.ф.-м.н. В.М. Томозов<sup>2</sup>, Е.С. Исаева<sup>2</sup>

1 — Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия; 2 — Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

Проанализирована связь комплексов активности (КА) и корональных дыр (КД) по данным 24-го цикла солнечной активности. По результатам анализа сделаны следующие выводы: 1) первые низкоширотные КД проявляются в виде выступов («хоботов») полярных дыр, вытягивающихся в сторону активной области (АО) в составе КА; 2) изолированные низкоширотные КД возникают в результате эволюции «хоботов» полярных КД; 3) высокоширотные КД подчиняются дифференциальному вращению; 4) возникновение «хоботов» полярных КД связано с влиянием АО (в составе КА) (см. рис. 2.1.4.4.1).

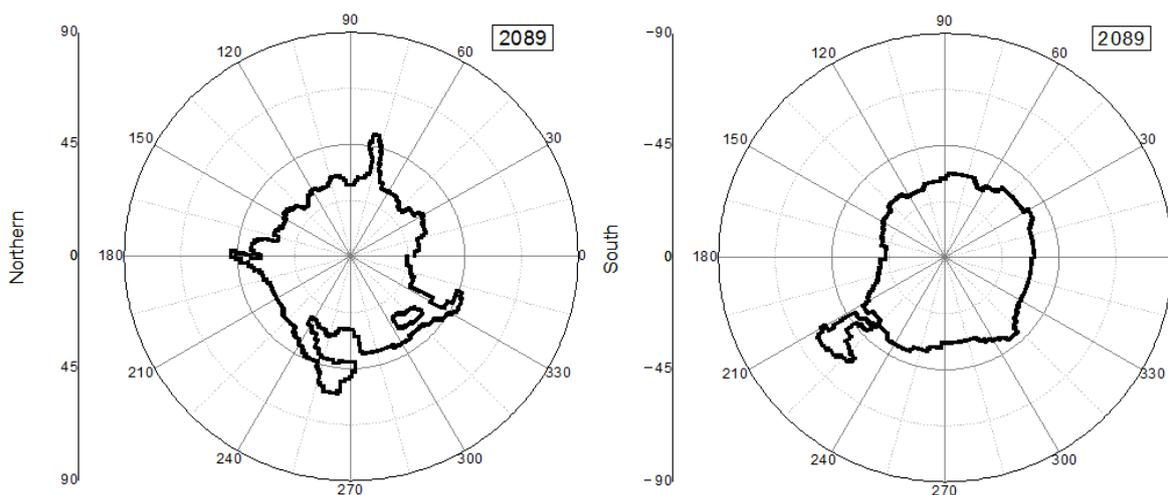


Рис. 2.1.4.4.1. Конфигурация полярных КД в 2089 обороте: слева — северное полушарие, справа — южное (заметны «хоботы»)

**Публикация:**

Язев С.А., Томозов В.М., Исаева Е.С. Комплексы активности и корональные дыры на Солнце: феноменология связи // *Астрономический журнал*. 2022. Т. 99, № 10. С. 1–13. DOI: 10.31857/S0004629922100139.

**2.1.4.5. 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. Автор результата — к.ф.-м.н. А.А. Луковникова.

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

Данные наблюдений КЛ и атмосферного давления с минутным и часовым интервалами накопления представляются on-line на сайте 84.237.21.4 в виде графиков и текстовых файлов, хранятся на ftp-сервере и в базе данных в ИСЗФ СО РАН, обновляются в международной базе данных pmdb.eu, а также предоставляются в Мировой центр данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ). На станции КЛ, расположенной на высоте 3000 м, совместно с Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Полярный геофизический институт» (Апатиты, Россия) проводится мониторинг гамма-излучения в энергетическом диапазоне 20–400 КэВ.

Для обеспечения стабильной работы станций КЛ проводились профилактические работы, произведена замена неисправного оборудования.

**Публикации:**

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

<http://www.nmdb.eu>

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

**2.2. Исследования в области физики околоземного космического пространства**

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

### 2.2.1.1. Локальная эмпирическая модель ионосферной возмущенности

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

С использованием данных о максимуме электронной концентрации  $N_mF2$ , полученных на Иркутском ионозонде в 2003–2020 гг., разработана локальная эмпирическая модель ионосферной возмущенности. Исходные данные были преобразованы в массив возмущений  $N_mF2$  ( $\Delta N_mF2$ ), представляющих собой процентные отклонения  $N_mF2$  от 27-дневной медианы, и массив среднеквадратичных значений  $\Delta N_mF2$  ( $\sigma N_mF2$ ). Для каждой суточно-сезонной ячейки построена линейная регрессия  $\sigma N_mF2$  на 27-дневное среднее значение  $A_p$ -индекса геомагнитной активности. В итоге получены суточно-сезонные зависимости  $\sigma N_mF2$  в спокойных геомагнитных условиях ( $A_p = 4$  нТл) и скорости изменения  $\sigma N_mF2$  с ростом  $A_p$  (рис. 2.2.1.1.1). Суточно-сезонные вариации  $\sigma N_mF2$  в спокойных геомагнитных условиях в основном определяются следующими тремя факторами. Ионосфера наиболее стабильна в периоды наибольших скоростей фотоионизации и рекомбинации (летнее дневное время) и наименее стабильна в периоды, характеризующиеся отсутствием фотоионизации и наименьшей скоростью рекомбинации (зимнее ночное время). Активность нижней атмосферы, ведущая к ионосферным возмущениям, максимальна зимой и минимальна летом. На зимнюю ночную возмущенность дополнительное влияние оказывают рекуррентные магнитные бури, которые могут происходить в спокойных геомагнитных условиях. Рост ионосферной возмущенности с геомагнитной активностью объясняется ионосферными эффектами геомагнитных бурь и геомагнитно-возмущенных условий. В целом скорость возрастания  $\sigma N_mF2$  с ростом  $A_p$  больше днем, чем ночью, летом, чем зимой и в периоды равноденствия, чем летом. Такая сезонная зависимость может объясняться сезонной зависимостью ионосферного отклика на магнитные бури. Уменьшение ионосферной возмущенности с ростом геомагнитной активности в зимнее ночное время может быть связано с ростом скорости рекомбинации, уменьшающим количество сильных положительных возмущений  $N_mF2$ .

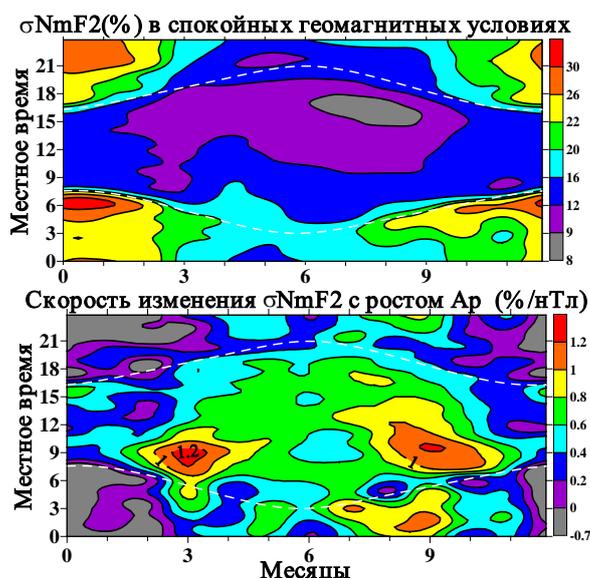


Рис. 2.2.1.1.1. Суточно-сезонные зависимости  $\sigma N_mF2$  в спокойных геомагнитных условиях  $A_p = 4$  нТл (вверху) и скорости изменения  $\sigma N_mF2$  с ростом  $A_p$  (внизу)

#### Публикация:

Ratovsky K.G., Medvedeva I.V. Local empirical model of ionospheric variability // Adv. Space Res. 2022. DOI: 10.1016/j.asr.2022.10.065.

### 2.2.1.2. Автоматическая идентификация типов рассеянных сигналов по данным радаров ЕКВ и MAGW ИСЗФ СО РАН самообучающейся нейронной сетью

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-к. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт<sup>1</sup>, к.г.-м.н. О.А. Кусонский<sup>2</sup>, А.И. Поддельский<sup>3</sup>, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац<sup>1</sup>.

1 — ИСЗФ СО РАН; 2 — ИГФ УрО РАН; 3 — ИКИР ДВО РАН

Создан алгоритм автоматической классификации сигналов, принимаемых радаром декаметрового когерентного рассеяния ИСЗФ СО РАН. Алгоритм представляет собой самообучающуюся нейронную сеть, определяющую тип рассеянных сигналов по результатам физического моделирования распространения радиоволн с использованием радарных данных и моделей ионосферы и магнитного поля Земли. Обучение сети производится по оригинальному методу, названному «обернутым классификатором». По данным радаров MAGW и ЕКВ ИСЗФ СО РАН за 2021 г. алгоритм самостоятельно обучился классифицировать рассеянные сигналы на изначально неизвестные классы, основываясь на физически интерпретируемых параметрах распространения радиоволн и измеренных радаром данных. Проведен статистический анализ сигналов радаров ЕКВ и MAGW (рис. 2.2.1.2.1).

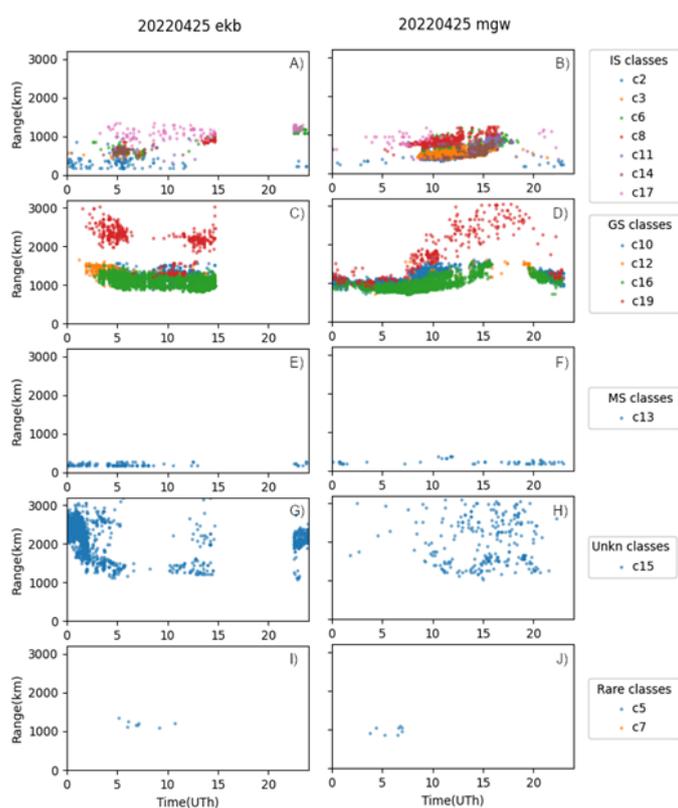


Рис. 2.2.1.2.1. Полученные в результате автоматической идентификации сигналов радаров ЕКВ (слева) и MAGW (справа) дальностно-временные диаграммы (сверху вниз): сигналы, рассеянные ионосферой; сигналы, рассеянные земной поверхностью; сигналы, рассеянные на метеорных следах; неинтерпретированные сигналы, связанные с некорректным расчетом траектории распространения; редко наблюдаемые типы сигналов

#### Публикация:

Berngardt O.I., Kusonsky O.A., Poddelsky A.I., Oinats A.V. Self-trained artificial neural network for physical classification of ionospheric radar data // Adv. Space Res. 2022. Vol. 70, no. 10. P. 2905–2919. DOI: 10.1016/j.asr.2022.07.054.

### 2.2.1.3. Исследование смещения аврорального овала во время магнитных бурь по данным ГНСС

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

В работе определялись экваториальная и полярная границы аврорального овала в предположении согласования его положения с положением овала ионосферных неоднородностей (по высоким значениям индекса  $ROTI$  — среднеквадратического отклонения производной по времени наклонного электронного содержания). Границы овала неоднородностей мы полагали тождественными границам аврорального овала.

С помощью разработанной в Институте системы ГНСС-мониторинга SIMuRG получены карты динамики индекса  $ROTI$  в системе геомагнитных координат. Проведен анализ функций корреляции параметров распределения индекса  $ROTI$  (наибольшего значения  $ROTI R_m$ , соответствующей ему магнитной широты  $\Phi_m$  и магнитной широты экваториальной границы высоких значений  $ROTI \Phi_e$ ) и значений геомагнитных индексов  $SYM-H$ ,  $SME$  (по данным SuperMAG) и южной компоненты ММП  $B_z$ . Анализ функций корреляции выполнен для десяти наиболее сильных магнитных бурь за период 2017–2020 гг. в минимуме 24-го цикла солнечной активности (рис. 2.2.1.3.1). Пять бурь были вызваны корональными выбросами массы (СМЕ-бури), пять — высокоскоростными потоками солнечного ветра (HSS-бури). Независимо от типа бури выявлены следующие закономерности. Главная фаза бури всегда сопровождается наибольшими значениями  $ROTI$ . Авроральный электроджет, характеризуемый индексом  $SME$ , оказывает наибольшее влияние на максимальные значения  $ROTI$ . Увеличение абсолютной величины индексов космической погоды сопровождается уменьшением широты (смещением к экватору) максимального значения  $ROTI$ . Наибольшая корреляция наблюдается с задержкой в 1 час между южной компонентой ММП ( $B_z$ ) и магнитной широтой, на которой появляются самые высокие значения  $ROTI$ . Накопление энергии и рост значений  $ROTI$  наблюдается даже при небольшой продолжительности времени, когда  $B_z$  имеет южную ориентацию. Зафиксированы следующие различия динамики индекса  $ROTI$  при различных типах магнитных бурь. По сравнению с HSS-бурями во время СМЕ-бурь наблюдаются более высокие значения  $ROTI$  при том же уровне геомагнитной активности и более высокая корреляция ( $>0.75$ ) между  $B_z$  и экваториальной границей высоких значений  $ROTI$ .

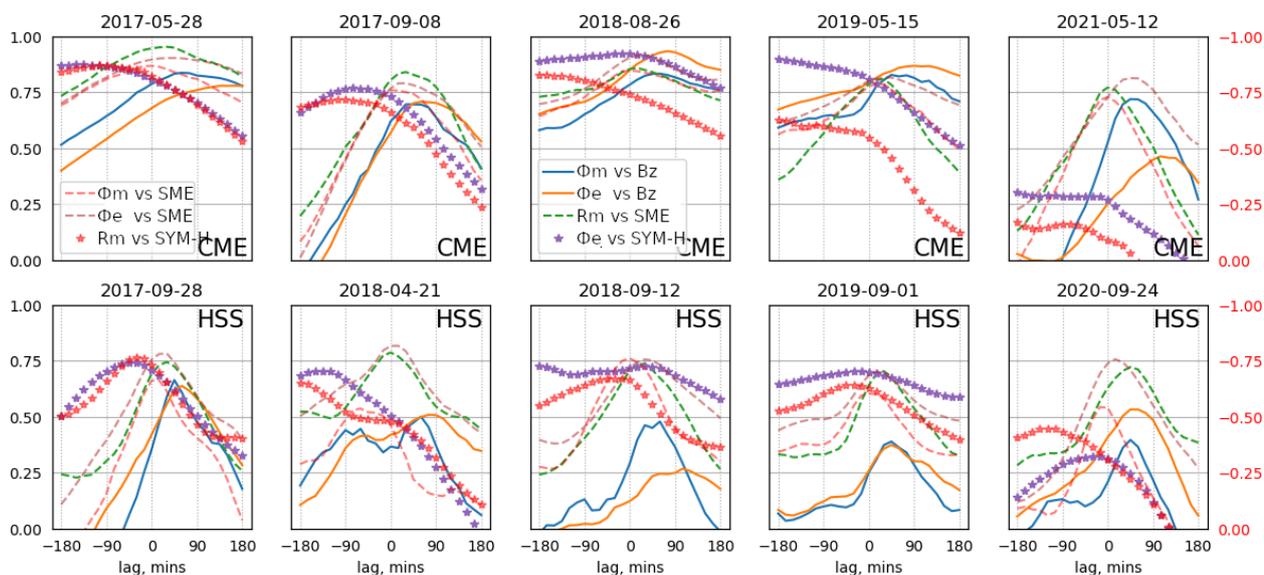


Рис. 2.2.1.3.1. Корреляция между индексами космической погоды и параметрами распределения  $ROTI$  для СМЕ-бурь (вверху) и HSS-бурь (внизу). Оси для зависимостей  $\Phi_m-SME$ ,  $\Phi_e-SME$ ,  $R_m-SYM-H$  расположены справа (красные цифры от 0 до -1)

### Публикация:

Edemskiy I.K., Yasyukevich Y.V. Auroral oval boundary dynamics on the nature of geomagnetic storm // Remote Sensing. 2022. Vol. 14, 5486. 22 p. DOI: 10.3390/rs14215486.

#### 2.2.1.4. Программно-аппаратный комплекс оперативного контроля формы диаграммы направленности 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.-к. А.В. Медведев. Авторы результата — к.ф.-м.н. В.П. Лебедев, А.Г. Сетов, В.Ю. Ермаков.

Разработан программно-аппаратный комплекс оперативного контроля формы диаграммы направленности Иркутского радара некогерентного рассеяния. Программная часть доработана с учетом развития теоретической модели диаграммы направленности антенной системы радара (рис. 2.2.1.4.1, 2.2.1.4.2). В модели учтена возможная асимметрия в антенно-фидерных трактах и параметрах волн высших типов, соответствующих каждому полурупору антенны радара. Аппаратная часть дополнена разработанной системой телеметрии, позволяющей оператору управлять работой передатчиков, следить за уровнем выходной мощности и архивировать показания мощности и температуры. Система контроля и управления передатчиками в масштабе реального времени позволяет оперативно получать параметры, необходимые для расчета формы диаграммы направленности радара, что крайне важно как для точного определения антенного угла места, так и для оценки эффективной площади рассеяния наблюдаемых космических аппаратов.

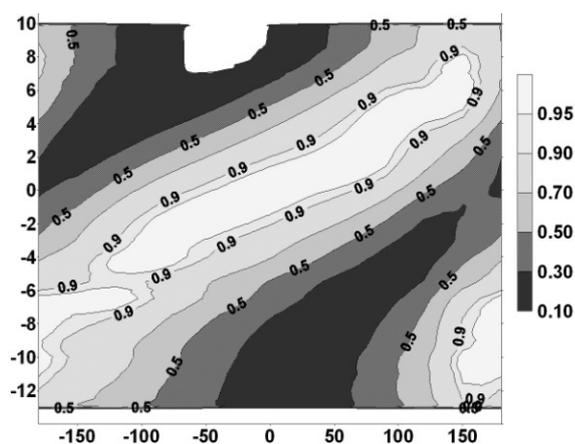


Рис. 2.2.1.4.1. Форма диаграммы направленности Иркутского радара некогерентного рассеяния в угломестном направлении в зависимости от разности фаз между полурупорами (ось абсцисс). По оси ординат отложен антенный угол места

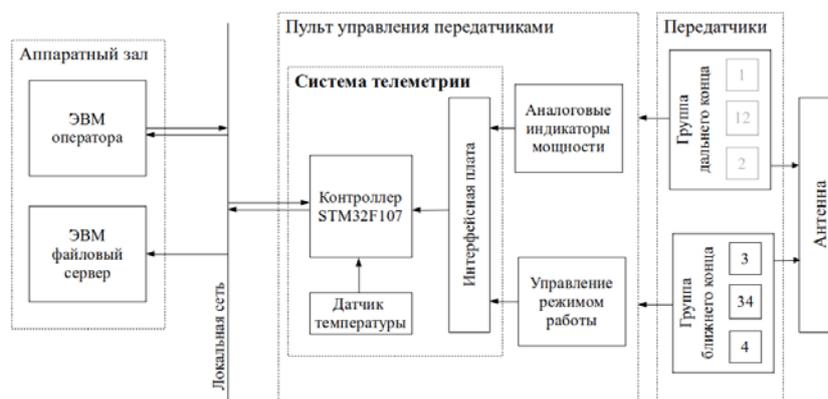


Рис. 2.2.1.4.2. Блок-схема системы телеметрии и управления передатчиками радара

**Публикация:**

Лебедев В.П., Сетов А.Г., Ермаков В.Ю. Антенна Иркутского радара некогерентного рассеяния: математическая модель, методы калибровки // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 2022. С. 527–537. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-527-537.

**2.2.1.5. Измерение диаграммы направленности антенны методом облета с привлечением беспилотного летательного аппарата**

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. В.П. Лебедев, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный, М.В. Цедрик, д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

Для измерения диаграмм направленностей антенн создан калибровочный программно-аппаратный комплекс, развернутый на борту беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Matrice 100, оснащенного миниатюрным ЛЧМ-передатчиком с подвесной передающей антенной. Передающий модуль представляет собой формирователь сигналов на основе прямого цифрового синтеза, запитанный от собственного аккумуляторного источника питания через преобразователь. Выход формирователя сигнала через фильтр низких частот и согласующий ВЧ-трансформатор нагружен на передающую антенну, выполненную в виде диполя с длиной плеча 0.8 м. Вес оборудования составляет ~1 кг, размер калибровочной антенны — около 2 м, время облета — 15–20 мин. Программно-аппаратный комплекс обеспечивает гибкое и точное задание траектории облета (точность позиционирования ~ 1.5 м) и оперативное проведение измерений, не требующее длительной и ресурсоемкой подготовительной работы. Использование открытого программного обеспечения позволяет на месте в реальном масштабе времени проводить расчет траектории полета с учетом изменения ракурса БПЛА, а также разработку дополнительного функционала, необходимого для решения задач калибровки антенны методом облета. В процессе облета БПЛА движется согласно полетному заданию с контролем своего положения по GPS. Количество используемых спутников GPS варьируется от 15 до 18, что обеспечивает точность позиционирования на заданной траектории порядка 1 м и стабильность ориентации порядка 5°. Двигаясь по заданной траектории, БПЛА 10 раз в секунду записывает свою телеметрию, что в дальнейшем позволяет, после синхронизации результатов телеметрии с записью принятого сигнала, провести точную привязку углового положения БПЛА относительно тестируемой антенны. Облет антенн осуществлялся в дальней зоне в верхней полусфере радиусом 200 м. С помощью разработанного комплекса проведено более 150 облетов КВ-антенн, расположенных в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (п. Торы, Республика Бурятия), что позволило измерить диаграммы направленностей антенн в частотном диапазоне 1–7 МГц (рис. 2.2.1.5.1).

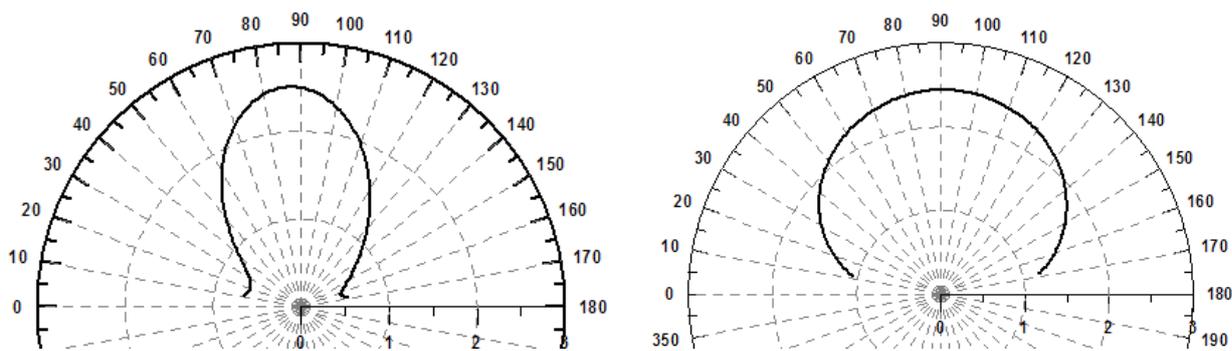


Рис. 2.2.1.5.1. Диаграммы направленности приемной антенны типа дельта на частоте 4 МГц в плоскости полотна антенны (слева) и в плоскости, перпендикулярной полотну антенны (справа)

#### Публикация:

Лебедев В.П., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Куркин В.И. Измерение диаграммы направленности КВ-антенн методом облета с привлечением беспилотного летательного аппарата DJIMatrice 100 // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 2022. С. 538–545. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-538-545.

#### 2.2.1.6. Метод оценки меридиональной и зональной скорости нейтрального ветра по статистике наблюдений двумерного вектора фазовой скорости внутренних гравитационных волн

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

Впервые предложен метод оценки нейтрального ветра по статистике наблюдений двумерных векторов фазовой скорости перемещающихся ионосферных возмущений в предположении, что они являются проявлением внутренних гравитационных волн (ВГВ). Метод основан на гипотезе ветровой фильтрации ВГВ и выполнении дисперсионного соотношения Буссинеска. Нейтральный ветер усиливает ВГВ, распространяющиеся против ветра, и ослабляет ВГВ, распространяющиеся по ветру. Ожидается, что максимумы в распределении азимутов ВГВ должны совпадать с направлениями, противоположными азимутам наиболее сильных ветров в этот сезон и это время суток. Определение азимута ветра реализовано как поиск азимутов ветров, обеспечивающих максимизацию целевой функции, пропорциональной количеству ВГВ, лежащих в областях отрицательной проекций направления распространения ВГВ на скорость ветра. Для определения модуля скорости ветра используется целевая функция, основанная на предположении о выполнении дисперсионного соотношения Буссинеска. Для проверки работоспособности метода была использована представительная статистика двумерных векторов фазовой скорости ВГВ, полученная по данным когерентных радаров декаметрового диапазона в Екатеринбурге (ЕКВ: 56.4° N, 58.5° E) и Магадане (МГВ: 60.0° N, 150.7° E). Тестирование метода, проведенное на основе данных когерентных радаров, показало удовлетворительное согласие с данными эмпирической модели нейтрального ветра HWM14 (рис. 2.2.1.6.1).

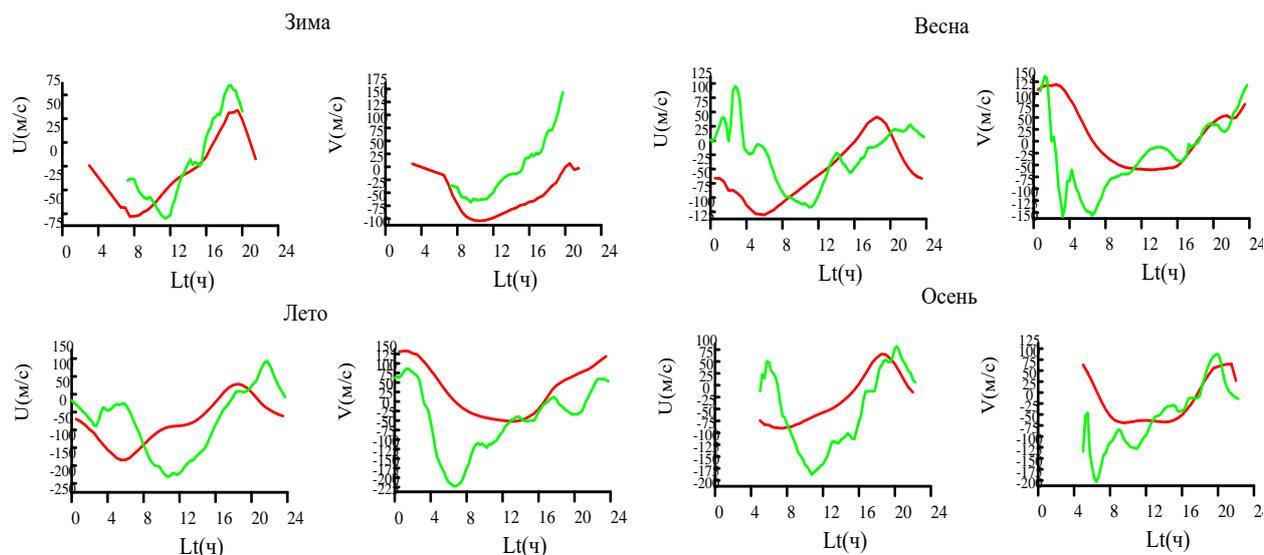


Рис. 2.2.1.6.1. Суточные вариации зональной (слева) и меридиональной (справа) скорости ветра для четырех сезонов года, полученные по наблюдениям двумерных векторов фазовой скорости ВГВ на радаре ЕКВ (зеленая линия) и по модели HWM14 (красная линия)

### Публикация:

Толстикова М.В., Ойнац А.В., Артамонов М.Ф., Медведева И.В., Ратовский К.Г. Связь статистики перемещающихся ионосферных возмущений с нейтральным ветром и возмущениями в стратосфере // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 83–94. DOI: 10.12737/szf-84202208.

### 2.2.1.7. Связь возмущений полного электронного содержания с *AE*-индексом геомагнитной активности

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-к. А.В. Медведев. Авторы результата — К.В. Белюченко<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. М.В. Клименко<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. В.В. Клименко<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский<sup>2</sup>.

1 — КФ ИЗМИРАН; 2 — ИСЗФ СО РАН

На основе расчетов по глобальной самосогласованной модели термосферы, ионосферы и протоносферы (ГСМ ТИП) исследована связь между возмущениями полного электронного содержания ( $\Delta TEC$ ) и вариациями *AE*-индекса геомагнитной активности (управляющего параметра модели) во время геомагнитной бури 17–23 марта 2015 г. Для исследования связи рассчитывался коэффициент корреляции  $R$  межсуточных вариаций  $\Delta TEC$  и *AE* на временном отрезке 17–23 марта для фиксированного момента всемирного времени, широты и долготы (рис. 2.2.1.7.1). Наибольшая положительная корреляция ( $R = 0.65 \div 0.90$ ) была выявлена для высокоширотных областей Южного и Северного полушарий на интервале 12–24 UT, который соответствовал окончанию главной фазы бури и наибольшим знамениям *AE*-индекса ( $>1000$  нТл). Наибольшая отрицательная корреляция ( $R = -0.40 \div -0.80$ ) была выявлена на том же временном интервале для экваториальной области. Для объяснения причин связи межсуточных вариаций  $\Delta TEC$  и *AE* были рассчитаны коэффициенты корреляции вариаций возмущений различных ионосферно-термосферных параметров и *AE*. Высокая корреляция была обнаружена для концентрации молекулярного

азота  $n(N_2)$  на всех широтах и для температуры электронов  $T_e$  в высокоширотных областях. Возрастание  $n(N_2)$  приводит к уменьшению ТЕС за счет увеличения скорости рекомбинации, а возрастание  $T_e$  — к росту ТЕС за счет увеличения толщины профиля электронной концентрации. Антикорреляция  $\Delta TЕС$  и  $AE$  в экваториальной области объясняется ростом  $n(N_2)$  в экваториальной зоне, который хорошо коррелирует с  $AE$ . В высоких широтах положительные эффекты за счет возрастания  $T_e$  преобладают над отрицательными эффектами возрастания  $n(N_2)$ , что ведет к положительной корреляции  $\Delta TЕС$  и  $AE$ .

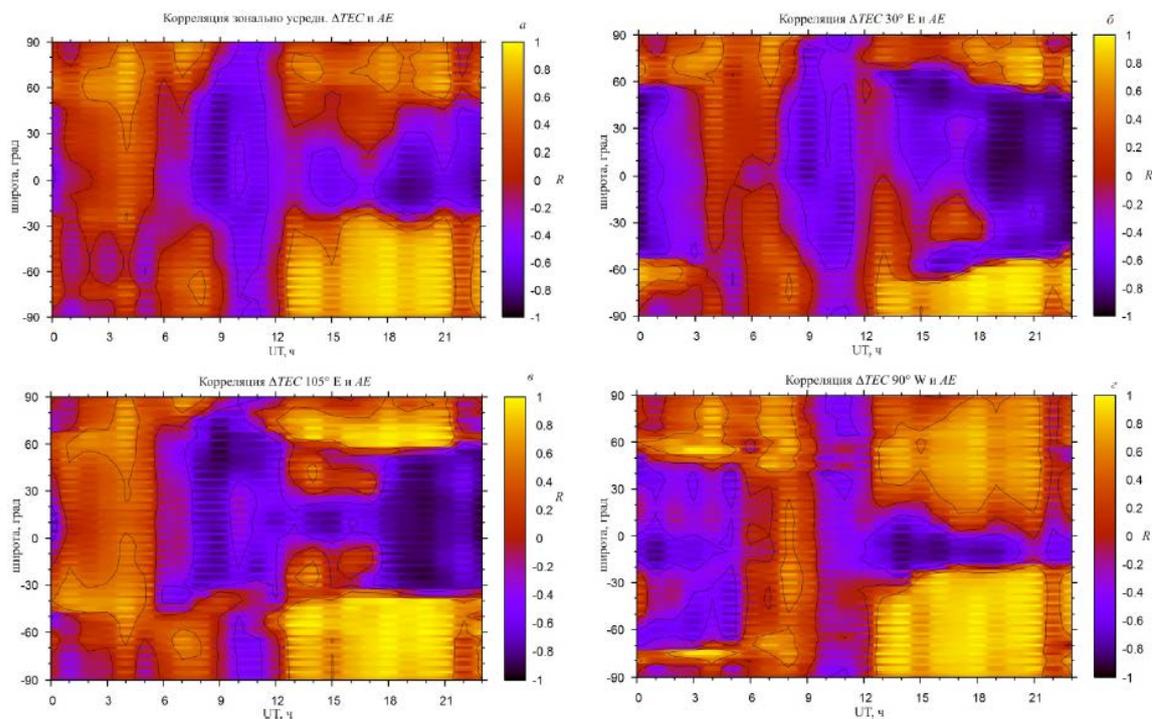


Рис. 2.2.1.7.1. Коэффициент корреляции  $\Delta TЕС$  и  $AE$  в координатах широта — UT для среднезонального  $\Delta TЕС$  (а) и  $\Delta TЕС$  на долготах  $30^\circ E$  (б),  $105^\circ E$  (в) и  $90^\circ W$  (г)

#### Публикация:

Белюченко К.В., Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г. Связь возмущений полного электронного содержания с  $AE$ -индексом геомагнитной активности во время геомагнитной бури в марте 2015 г. // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 41–48. DOI: 10.12737/szf-83202206.

#### 2.2.1.8. Развитие методов высокоточного позиционирования на основе глобальных навигационных спутниковых систем

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-к. А.В. Медведев. Авторы результата — Р. Hou<sup>1</sup>, В. Zhang<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич<sup>2</sup>, Т. Liu<sup>1</sup>, J. Zha<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Geodesy and Earth's Dynamics, Wuhan, China

<sup>2</sup>ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

В глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) программное обеспечение, как правило, обрабатывает измерения фазы и псевдодальности совместно для достижения высокоточного позиционирования. При этом немоделируемые ошибки псевдодальности (в первую очередь из-за многолучевости) значительно снижают точность позиционирования. Для устранения этого негативного явления предложен метод PPP-RTK, основанный исключительно на фазовых измерениях для трехчастотной системы BeiDou. Проанализированы данные за пять дней на сети из семи приемников, разнесенных на ~100

км. Анализ показал, что фазовые невязки имеют место только на третьей частоте и обусловленная ими дальномерная ошибка не превышает 2 см, а влияние ионосферы и ошибки часов приемника и спутника не приводят к ошибкам более 8 см. Совместное решение на основе фазовых измерений PPP-RTK с использованием данных трехчастотных приемников сигналов BDS-2 обеспечивает точность на уровне двух сантиметров (рис. 2.2.1.8.1), что крайне точно для ГНСС-позиционирования. Кроме того, предложенная модель характеризуется относительно быстрым временем выхода на стабильное решение после фазового сбоя: три измерения относительно двенадцати для традиционного решения «фаза плюс код». В условиях многолучевости эти величины значительно возрастают и достигают 36 и 43 измерений соответственно.

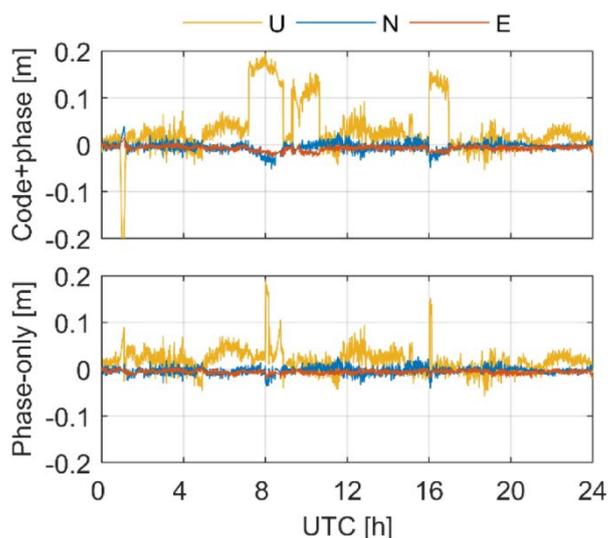


Рис. 2.2.1.8.1. Три компоненты ошибок позиционирования высокоточного позиционирования на основе ГНСС (PPP) в режиме устранения фазовой неоднозначности «фаза плюс код» (вверху) и решение на основе фазовых измерений PPP-RTK с использованием данных трехчастотных приемников сигналов BDS-2 (внизу): U — вертикальная компонента (оранжевый); N — северная компонента (синий); E — восточная компонента (красный). Данные 3 января 2021 г.

#### Публикация:

Hou P., Zhang B., Yasyukevich Y.V., Liu T., Zha J. Multi-frequency phase-only PPP-RTK model applied to BeiDou data // GPS Solutions. 2022. Vol. 26, 76. 14 p. DOI: 10.1007/s10291-022-01263-x.

#### 2.2.1.9. Экспериментальное исследование полного вектора скорости перемещающихся ионосферных возмущений

Проект «Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн». Руководитель — чл.-к. А.В. Медведев. Авторы результата — Е.А. Трофимов, чл.-к. А.В. Медведев.

Метод определения характеристик распространения перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) базируется на измерении времени распространения возмущений в горизонтальном и вертикальном направлениях. Предполагается, что в любой момент в каждой точке пространства ПИВ имеет форму плоской волны:  $\Delta N_e(\vec{R}, t) = \Delta N_0(z)A(t - \tau(\vec{R}))$ . Задержка между  $\Delta N_e$ , наблюдаемыми в точках с радиус-векторами  $\vec{R}_1$  и  $\vec{R}_2$  в каждый момент времени определяется по формуле:  $\Delta\tau(\vec{R}_1, \vec{R}_2) = (\vec{q} \cdot (\vec{R}_1 - \vec{R}_2))$ , где  $\vec{q} = \vec{e} / V$ . Используя задержки между  $\Delta N_e$ , наблюдаемыми на двух лучах радара некогерентного рассеяния и ионозонде

DPS-4 на каждой высоте, получаем систему линейных уравнений. Определяя из них полный вектор  $\vec{q}$ , можно вычислить характеристики ПИВ ( $V$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ) для всех высот наблюдения согласно известным выражениям преобразования координат:  $V = \sqrt{1/(q_x^2 + q_y^2 + q_z^2)}$ ,  $\theta = \arctg(q_z / \sqrt{(q_x^2 + q_y^2)})$ ,

$$\psi = \begin{cases} \arctg(q_y / q_x), & q_y > 0, q_x > 0; \\ \arctg(q_y / q_x) + \pi, & q_x < 0; \\ \arctg(q_y / q_x) + 2\pi, & q_y < 0, q_x > 0. \end{cases}$$

Получены результаты обработки экспериментальных данных на примере возмущений 11 сентября 2005 г. После фильтрации в полосе периодов 1–4 ч наиболее высокие коэффициенты корреляции данных (0.9 и выше) для всех трех лучей отмечались в 2–4 UT в диапазоне высот 230–370 км и в 10–12 UT на высотах 280–380 км (рис. 2.2.1.9.1).

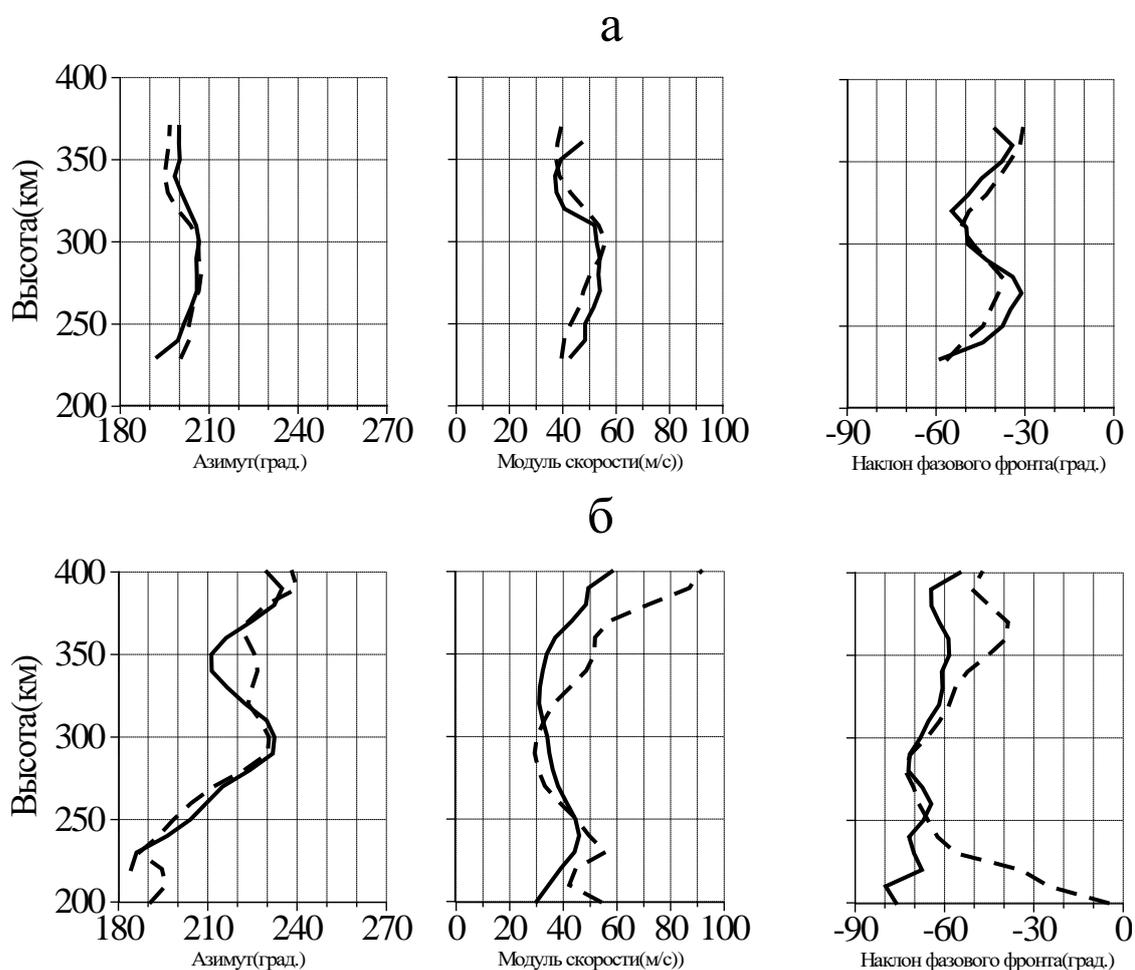


Рис. 2.2.1.9.1. Высотные профили параметров распространения ПИВ, полученные кросскорреляционным методом (штриховая линия) для интервалов времени 2–4 UT (а) и 10–12 UT (б) и фазоразностным методом (сплошная линия) для интервалов времени 2:30–5:30 UT (период доминантной гармоника 1.5 ч) (а) и 7:00–12:30 UT (период доминантной гармоника 2.8 ч) (б)

#### Публикация:

Трофимов Е.А., Медведев А.В. Экспериментальное исследование полного вектора скорости ПИВ // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды XVII Конференции молодых ученых. Иркутск, 2022. С. 319–321.

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

### 2.2.2.1. Модель распространения КВ-радиоволн на основе волноводного подхода

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 — М.С. Пензин, к.ф.-м.н. Н.В. Ильин, к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук.

Развит метод моделирования характеристик КВ-радиосигналов на основе волноводного подхода — метод нормальных волн. В рамках волноводного подхода электромагнитное поле излучения внутри волновода Земля — ионосфера представляется в виде разложения по собственным функциям радиального оператора. Для коэффициентов разложения в ряде нормальных волн получены решения волноводных уравнений без учета взаимодействия волн в неоднородном волноводе. Проведена модификация схемы решения радиальной задачи и построения спектра радиального оператора для рабочих частот нижней части декаметрового диапазона, для которых существует регулярный волновод Земля — ионосфера и число нормальных волн достаточно велико. При численных расчетах ряд ограничивается так называемой группой слабозатухающих нормальных волн. Если несущая частота сигнала больше критических частот на трассе распространения, то в каждой точке волновода существует номер нормальной волны, после которого электромагнитная волна перестает отражаться от ионосферы. В случае если частота меньше критических частот по трассе, группа слабо просачивающихся волн становится бесконечной. При этом реальные части спектрального параметра образуют последовательность, сходящуюся к нулю, что физически соответствует наличию углов излучения, сколь угодно близких к вертикали к земной поверхности. Мнимые части спектрального параметра растут с номерами волн, но обусловлено это не прохождением волн сквозь ионосферный барьер, а поглощением в ионосфере.

Разработаны численные алгоритмы расчета характеристик нормальных волн, анализа и суммирования ряда нормальных волн, на базе которых реализованы программы расчета характеристик сигналов на КВ-радиотрассах. На рис. 2.2.2.1.1 приведены графики зависимости мнимой части спектрального параметра  $\nu_n$  от его вещественной части  $\gamma_n$  для рабочих частот 4 (а) и 10 МГц (б).

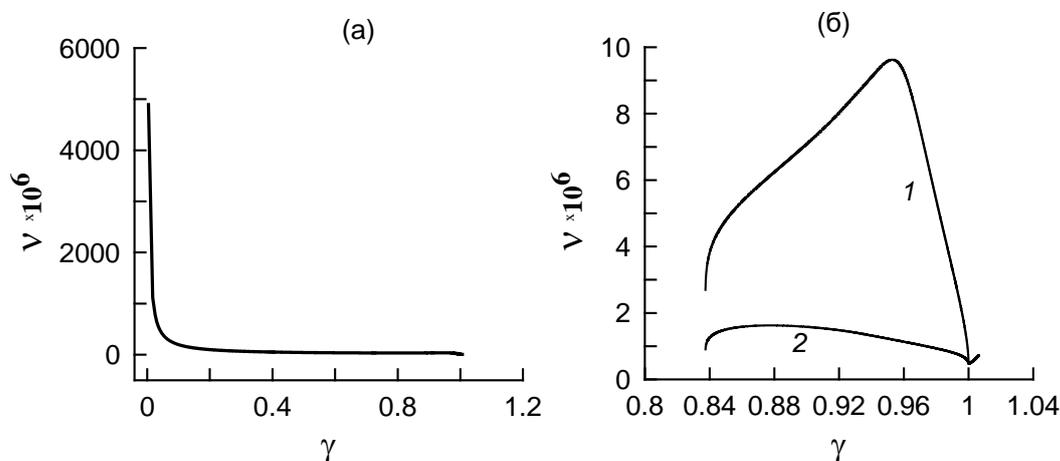


Рис. 2.2.2.1.1. Зависимость мнимой части спектрального параметра  $\nu_n$  от его вещественной части  $\gamma_n$ : 1 — волны ТМ-типа; 2 — волны ТЕ-типа

### Публикация:

Пензин М.С., Ильин Н.В., Пономарчук С.Н. Модель распространения декаметровых радиоволн на основе метода нормальных волн // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн: материалы Всероссийской открытой научной конференции. 2022. С. 150–159. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-150-159.

### 2.2.2.2. Возвратно-наклонное зондирование ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом

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. В.П. Грозов, к.ф.-м.н. Н.В. Ильин, д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, М.С. Пензин, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный, М.В. Цедрик.

На базе пространственно-распределенного ЛЧМ-ионозонда ИСЗФ СО РАН создана система возвратно-наклонного зондирования (ВНЗ) ионосферы. Пункт излучения сигнала — Усолье-Сибирское (52.8°N, 103.3°E), приема — п. Торы, Республика Бурятия (51.8° N, 103° E). Для излучения используется антенна типа дельта, для приема — система антенн БС-2. Проведенные экспериментальные исследования выявили потенциальные возможности системы для диагностики условий распространения радиоволн. При мощности передатчика несколько киловатт регистрируются качественные ионограммы ВНЗ в пределах максимальной дальности одного скачка (~3000÷4000 км). Для анализа экспериментальных данных в рамках волноводного подхода был разработан комплексный алгоритм расчета характеристик сигналов ВНЗ, включая амплитудную развертку регистрируемого сигнала. Входными параметрами алгоритма являются профили электронной концентрации и эффективной частоты соударений, рассчитываемые по модели ионосферы, электрические параметры подстилающей среды и коэффициенты рассеяния земной поверхностью. Разработаны методы прямой диагностики декаметрового радиоканала по данным ВНЗ, базирующиеся на выделении переднего фронта сигнала ВНЗ при обработке и интерпретации ионограмм. Результаты выделения переднего фронта сигнала на ионограмме используются для расчета максимальных применимых частот и траекторных характеристик наклонного распространения сигнала для заданных радиотрасс в секторе зондирования. Реализованы алгоритмы инверсии переднего фронта сигнала ВНЗ в профиль электронной концентрации. На рис. 2.2.2.2.1 приведены ионограмма ВНЗ для сеанса зондирования в 03:00 UT 02.11.2020 (левая панель), а также результаты ее обработки и интерпретации и расчетные дистанционно-частотные характеристики (ДЧХ) наклонного распространения на сетке дальностей в секторе зондирования с азимутом 55° (правая панель).

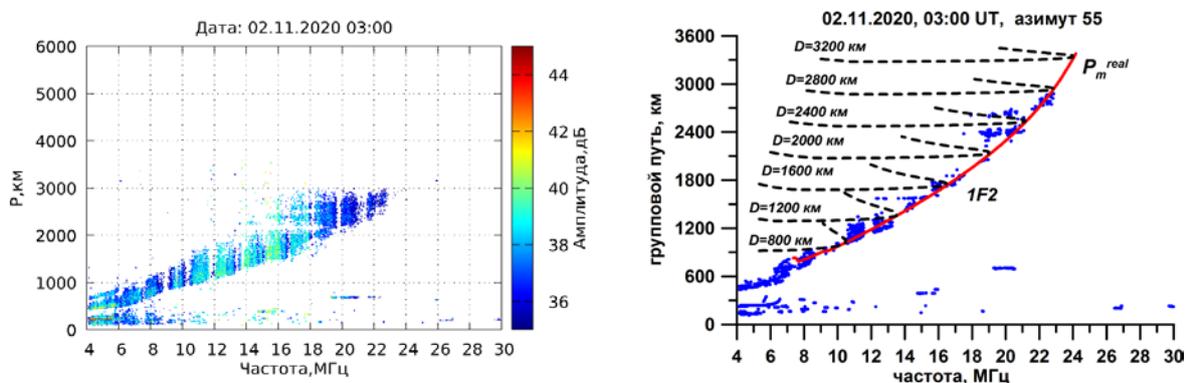


Рис. 2.2.2.2.1. Ионограмма ВНЗ для сеанса зондирования в 03:00 UT 02.11.2020 (слева) и результаты ее обработки и интерпретации и расчетные ДЧХ на сетке дальностей в секторе зондирования с азимутом 55° (справа)

### Публикация:

Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Ilyin N.V., Kurkin V.I., Oinats A.V., Penzin M.S., Podlesnyi A.V., Tsedrik M.V. Backscatter ionospheric sounding by a continuous chirp signal // Radiophys. and Quant. Electr. 2022. Vol. 64, iss. 8-9. P. 591–604. DOI: 10.1007/s11141-022-10162-7.

### 2.2.2.3. Исследование влияния слабых магнитных бурь на условия распространения КВ-радиоволн

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. Куркин, к.ф.-м.н. Н.А. Золотухина, к.ф.-м.н. Н.М. Полех.

По данным вертикального и наклонного зондирования, полученным в марте и сентябре 2018–2020 гг. в северо-восточном регионе России, исследовано влияние высокоскоростных потоков солнечного ветра (СВ) на условия распространения КВ-радиоволн. Обнаружено, что длительное воздействие такого потока на магнитосферно-ионосферную систему приводит к заметному понижению максимально наблюдаемых частот односкачко-вой моды ( $MUF2$ ) даже тогда, когда поток вызывает лишь слабую магнитную бурю. Отклик ионосферы зависит не только от таких геоэффективных параметров, как скорость и плотность СВ, величина и ориентация межпланетного магнитного поля, но и от продолжительности воздействия высокоскоростного потока СВ на магнитосферно-ионосферно-термосферную систему и ее исходного состояния. Во время слабых бурь понижение  $MUF2$  днем достигает 25–35 %, ночью — 40–50 % или прохождение сигналов отсутствует, а вдоль трассы Норильск–Иркутск КВ-радиоволны распространяются в основном модой  $2E_s$ . Примеры длительного понижения  $MUF2$  и распространения КВ-радиоволн модой  $2E_s$  во время слабых бурь, связанных с высокоскоростными потоками СВ, представлены на рис. 2.2.2.3.1 (три нижние панели слева и справа соответственно).

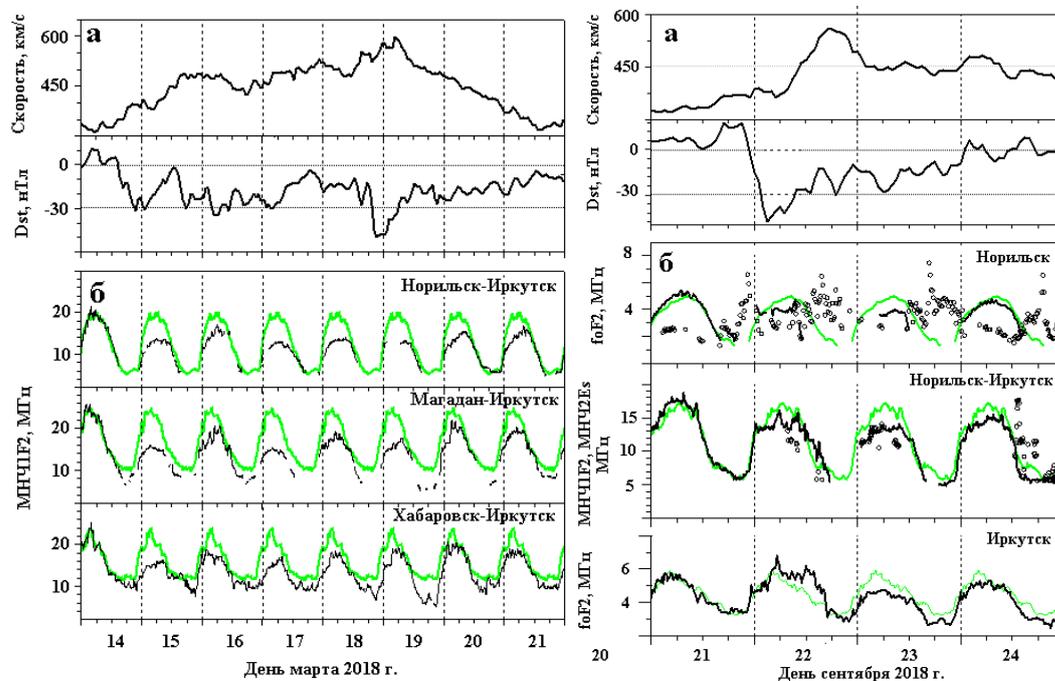


Рис. 2.2.2.3.1. Вариации скорости солнечного ветра и  $Dst$ -индекса (две верхние панели), а также фоновых (зеленые линии) и текущих (черные линии) значений  $MUF2$  и  $f_oF2$  (три нижние панели) в марте (слева) и сентябре (справа) 2018 г. Точками на правых панелях показаны значения  $MUF2Es$  и предельных частот спорадического слоя ( $f_oEs$ )

### Публикации:

1. Kurkin V.I., Polekh N.M., Zolotukhina N.A. Effect of weak magnetic storms on the propagation of HF radio waves // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2022. Vol. 62, iss. 1-2. P. 104–115. DOI: 10.1134/S0016793222020116.

2. Куркин В.И., Полех Н.М., Золотухина Н.А. Ионосферные эффекты слабых геомагнитных бурь в минимуме солнечной активности: весеннее равноденствие // *Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн: материалы Всероссийской открытой научной конференции*. 2022. С. 105–114. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-105-114.

#### 2.2.2.4. Исследование отклика среднеширотной ионосферы Северного полушария на магнитные бури в марте 2012 года

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. Черниговская<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. Б.Г. Шпынев<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. А.Ю. Белинская<sup>2</sup>, к.ф.-м.н. А.Е. Степанов<sup>3</sup>, к.ф.-м.н. В.В. Бычков<sup>4</sup>, С.А. Григорьева<sup>5</sup>, к.ф.-м.н. В.А. Панченко<sup>6</sup>, Й. Мелич<sup>7</sup>.

1 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 2 — ИНГГ СО РАН, Новосибирск, Россия; 3 — ИКФИА СО РАН, Якутск, Россия; 4 — ИКИР ДВО РАН, Паратунка, Россия; 5 — Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия; 6 — ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия; 7 — Институт атмосферной физики им. Лейбница, Кюлунгсборн, Германия

Выполнено исследование вариаций ионосферных и геомагнитных параметров в Северном полушарии для серии магнитных бурь в марте 2012 г. (рис. 2.2.2.4.1, *з*) на основе анализа данных евразийской среднеширотной цепи ионозондов и средне- и высокоширотных цепей магнитометров сети INTERMAGNET. Подтверждена неоднородная структура долготной изменчивости компонент геомагнитного поля (ГМП) из-за несовпадения географического и геомагнитного полюсов (УТ-эффект), а также из-за пространственных аномалий разного масштаба в ГМП (рис. 2.2.2.4.1, *а*). Во время магнитной бури вариации ГМП становятся значительными. Они могут играть важную роль в формировании долготных неоднородностей ионосферы, особенно на восстановительной фазе бури (рис. 2.2.2.4.1, *б*, *в*). На фазе восстановления бури наибольшее падение ионизации отмечалось в зонах сильных вариаций ГМП на долготах  $\sim 120^\circ$ – $140^\circ$  Е (в Якутске и Паратунке) и  $\sim 40^\circ$ – $60^\circ$  Е (в Москве и Екатеринбурге). Над Сибирским регионом Евразии на долготах  $\sim 80^\circ$ – $110^\circ$  Е (в Новосибирске и Иркутске) ионосфера в целом характеризовалась повышенным уровнем ионизации и раньше других долготных зон начинала восстанавливаться после геомагнитных возмущений ввиду низкого уровня вариаций ГМП на этих долготах.

Отмечаются сложные ионосферные процессы в этот длительный магнитовозмущенный период в марте 2012 г. с переключением между положительной и отрицательной фазами ионосферной бури в один и тот же период магнитной бури для различных пространственных областей. Такая смена эффектов ионосферной бури могла быть связана с суперпозицией на средних широтах конкурирующих процессов, влияющих на ионизацию ионосферы, источники которых находились в авроральной и экваториальной ионосфере.

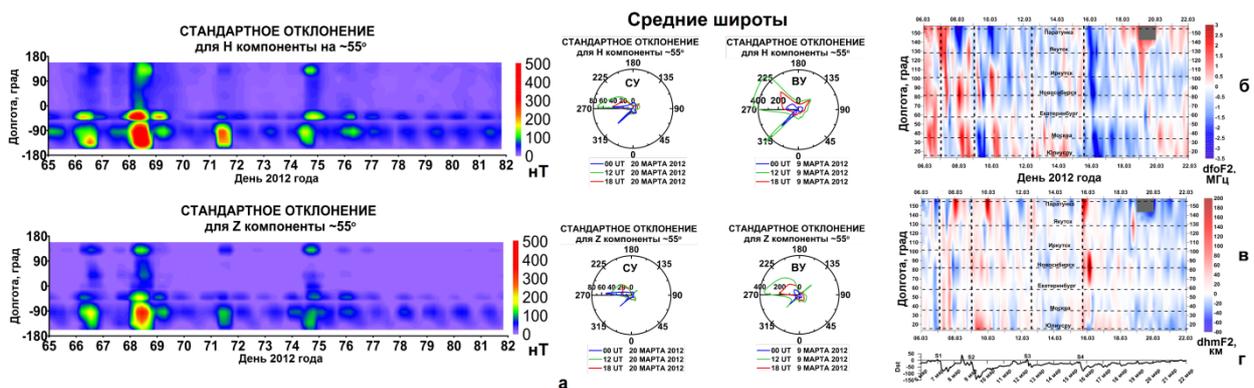


Рис. 2.2.2.4.1. Долготно-временные вариации: дисперсий H- и Z-компонент ГМП 6–22 марта 2012 г. и распределения дисперсий ГМП в полярных координатах для отдельных дней марта 2012 г. для спокойных (СУ) и возмущенных (ВУ) условий на средних ( $\sim 55^\circ$  N) широтах (a); абсолютных отклонений критической частоты  $df_oF2$  (б) и высоты максимума ионизации  $dh_mF2$  (в) для серии бурь в марте 2012 г. (вертикальные штриховые линии отмечают SSC), а также вариации  $Dst$ -индекса (г)

### Публикация:

Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Хабитуев Д.С., Ратовский К.Г., Белинская А.Ю., Степанов А.Е., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А., Мелич Й. Исследование отклика среднеширотной ионосферы Северного полушария на магнитные бури в марте 2012 года // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 46–59. DOI: 10.12737/szf-84202204.

### 2.2.2.5. Исследование влияния стратосферной циркуляции на среднемасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения по данным наклонного зондирования ионосферы

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 — д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. И.В. Медведева, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный.

Выполнен анализ данных наклонного зондирования (НЗ) ионосферы непрерывным сигналом с линейной модуляцией частоты (ЛЧМ-сигнал) в Азиатском регионе России и зональных характеристик стратосферы над Северным полушарием по ежедневным данным реанализа MERRA ([http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/Data\\_services/met/ann\\_data.html](http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/ann_data.html)) за период с декабря 2015 г. по март 2016 г. Выявлена чрезвычайно высокая вероятность регистрации среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (СМ ПИВ) на всех односкачковых трассах в дневные часы зимнего сезона.

На рис. 2.2.2.5.1 приведен суточный ход вероятности регистрации СМ ПИВ на меридиональной трассе Норильск–Иркутск и на среднеширотной трассе Хабаровск–Иркутск в декабре 2015 г.

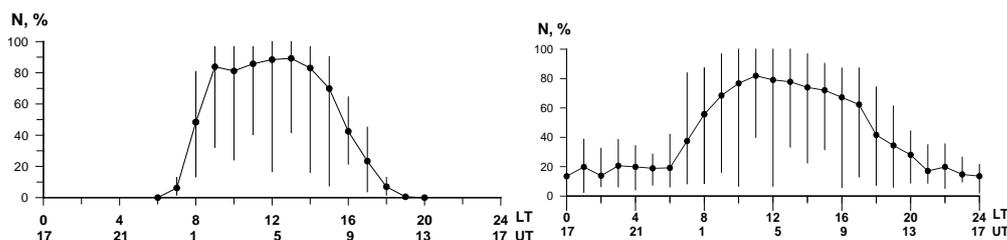


Рис. 2.2.2.5.1. Суточный ход вероятности регистрации СМ ПИВ на меридиональной трассе Норильск–Иркутск (слева) и на среднеширотной трассе Хабаровск–Иркутск (справа) в декабре 2015 г.

Внезапное стратосферное потепление типа *miniop* в начале февраля 2016 г. существенно изменило характеристики СМ ПИВ, регистрируемых на рассматриваемых трассах НЗ в Азиатском регионе России. Финальное потепление в начале марта 2016 г., сопровождавшееся реверсом зонального ветра (10 гПа) на 60° N, вызвало существенные вариации характерных длительностей регистрации конкретных ПИВ на всех трассах ото дня ко дню, резкое уменьшение средней вероятности регистрации ПИВ на меридиональной радиотрассе Норильск–Торы и среднеширотных радиотрассах Хабаровск–Торы и Магадан–Торы. В то же время на трассах Магадан–Норильск и Хабаровск–Норильск вероятность регистрации ПИВ существенно возросла по сравнению с предыдущими месяцами.

**Публикация:**

Куркин В.И., Медведева И.В., Подлесный А.В., Думбрава З.Ф., Поддельский И.Н. Влияние внезапного стратосферного потепления на характеристики среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений в азиатском регионе России // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн: материалы Всероссийской открытой научной конференции. 2022. С. 27–35. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-27-35.

**2.2.2.6. Крупномасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения, зарегистрированные по данным наклонного зондирования во время магнитных бурь в 2006–2011 гг.**

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. Иванова, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный, А.И. Поддельский.

На основе данных наклонного зондирования в КВ-диапазоне исследовались вариации максимальных наблюдаемых частот (МНЧ) как отклики на прохождение крупномасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (КМ ПИВ) во время слабых и умеренных магнитных бурь в 2006–2011 гг. Для анализа были выбраны ряды наблюдений с 2006 по 2011 г. на трех трассах наклонного зондирования: Магадан–Торы, Норильск–Торы и Хабаровск–Торы. Интервалы между зондированиями составляли 4 и 5 мин. Рассматривались вариации МНЧ на односкачковой трассе с отражением от области F2 ионосферы. На ионограмме наклонного зондирования КМ ПИВ проявляются в виде значительных вариаций МНЧ без изменений структуры трека ионограммы. Для количественного анализа появления КМ ПИВ рассматривались относительные отклонения МНЧ от медианных значений (рис. 2.2.2.6.1).

Крупномасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения по данным наклонного зондирования в Азиатском регионе Российской Федерации были зарегистрированы в 48 % исследованных магнитных бурь. Средние относительные амплитуды КМ ПИВ изменялись от 14.1 до 22.3 %, а средние периоды КМ ПИВ изменялись от 1.3 до 3.3 ч.

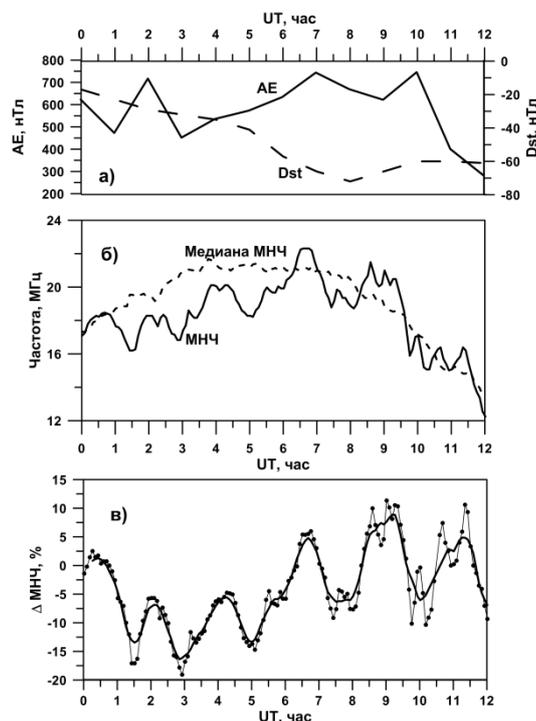


Рис. 2.2.2.6.1. Вариации индексов  $AE$  (сплошная линия) и  $Dst$  (штриховая линия) (а),  $MUF(3000)F_2$  (сплошная линия) и медианы  $MUF(3000)F_2$  (штриховая линия) (б), а также относительных отклонений  $MUF(3000)F_2$  от медианных значений ( $\Delta MUF(3000)F_2$ , %) (в): тонкая линия с символами — несглаженных; утолщенная линия — сглаженных по семи точкам (трасса Магадан–Торы, 24 марта 2007 г.)

#### Публикация:

Ivanova V.A., Podlesnyi A.V., Poddelsky A.I. Large-scale travelling ionospheric disturbances registered using oblique incidence sounding during magnetic storms in 2006–2011 // Proc. of SPIE. Vol. 12341: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2022. 123417M. DOI: 10.1117/12.2645038.

#### 2.2.2.7. Имитационное моделирование ионограмм вертикального зондирования

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. О.А. Ларюнин, д.ф.-м.н. В.И. Куркин, А.А. Рыбкина, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный.

Появление серповидных треков на ионограммах вертикального зондирования может быть связано с многолучевостью, возникающей за счет боковых отражений на горизонтальных градиентах электронной концентрации. Представлены результаты численного моделирования ионосферного распространения радиоволн в условиях горизонтально-неоднородной среды. Показана возможность образования петлеобразных траекторий. Рассмотрены динамические проявления перемещающихся ионосферных возмущений на ионограммах. Для того чтобы описать большее разнообразие экспериментальных событий, выбрано возмущение в виде двух локализованных косинусов:

$$f_p(x, z) = f_{p0}(z) \cdot \left[ 1 + \delta \exp\left(-\frac{(x-x_0)^4}{l^4}\right) \cos\left(2\pi \frac{x-x_0}{\lambda}\right) + \delta \exp\left(-\frac{(x-x_0+\Delta x)^4}{l^4}\right) \cos\left(2\pi \frac{x-x_0+\Delta x}{\lambda}\right) \right].$$

Здесь  $x_0$  — варьируемый параметр, задающий горизонтальную координату центра первого возмущения, расстояние между возмущениями  $\Delta x = 200$  км, горизонтальный радиус локализации каждого возмущения  $l = 100$  км, длина волны возмущений  $\lambda = 195$  км.

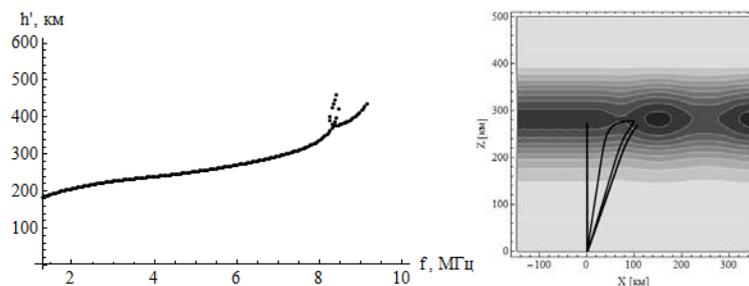


Рис. 2.2.2.7.1. Синтезированная ионограмма и характерные лучевые траектории

Варьирование центра возмущения  $x_0$  ведет к смещению всей структуры относительно точки излучения/приема (начала координат). При этом расположение дополнительного трека на ионограмме меняется. Результаты моделирования (рис. 2.2.2.7.1), отображают лучевую картину для  $f = 8.6$  МГц,  $x_0 = 100$  км. Основной трек ионограммы образуют квазивертикальные траектории, а серп образуется за счет боковых отражений от удаленной по горизонтали структуры. В определенном частотном интервале отмечаются три луча. Однако траекторный синтез показывает, что лучей, строго говоря, четыре. Это связано с взаимностью петлеобразного луча: если угол излучения задать равным углу прихода, радиоволна будет распространяться в обратном направлении по той же траектории (рис. 3,  $z, f = 8.42$  МГц).

#### Публикация:

Ларюнин О.А., Куркин В.И., Рыбкина А.А., Подлесный А.В. К вопросу моделирования признаков ионосферных возмущений на ионограммах вертикального зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. 2022. С. 144–149. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-144-149.

#### 2.2.2.8. Мелкомасштабные неоднородности в области поляризационного джета/субаврорального дрейфа ионов (PJ/SAID) во время геомагнитной бури

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. А.В. Ойнац (ИСЗФ СО РАН), А.А. Синеви́ч (ИКИ РАН), А.А. Чернышов (ИКИ РАН), Д.В. Чугунин (ИКИ РАН), L.B.N. Clausen (Department of Physics, University of Oslo, Oslo, Norway), W.J. Miloch (Department of Physics, University of Oslo, Oslo, Norway), N. Nishitani (Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan), М.М. Mogilevsky (ИКИ РАН).

Проведено исследование пространственной структуры поляризационного джета/субаврорального дрейфа ионов (PJ/SAID) по данным спутников NorSat-1 и Swarm во время геомагнитной бури. Наблюдения за параметрами плазмы внутри PJ/SAID осуществлялись с помощью NorSat-1 с использованием системы ленгмюровских зондов с номинальной частотой дискретизации до 1 кГц. Сравнительный анализ параметров плазмы и спектров электронной концентрации внутри джета по данным обоих спутников показал, что с ростом геомагнитной активности флуктуации параметров плазмы внутри него увеличиваются на всех масштабах. Мелкомасштабные неоднородности в джете измеряются in-situ с пространственным разрешением до сотен метров. Роль крупномасштабных эффектов в джете возрастает по сравнению с мелкомасштабными во время высокой геомагнитной активности. Джет состоит из структур  $\sim 0.2^\circ$  по широте, внутри которых присутствуют мелкомасштабные неоднородности.

#### Публикация:

Sinevich A.A., Chernyshov A.A., Chugunin D.V., Oinats A.V., Clausen L.B.N., Miloch W.J., Nishitani N., Mogilevsky M.M. Small-scale irregularities within polarization jet/SAID during geomagnetic activity // Geophys. Res. Lett. 2022. Vol. 49. Iss. 8. P. e2021GL097107. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-144-149.

### 2.2.2.9. Система мониторинга ионосферного полного электронного содержания на базе сигналов ГНСС (MITIGATOR)

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. Ю.В. Ясюкевич, А.М. Веснин, А.В. Киселев, к.ф.-м.н. А.А. Мыльникова, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, В.А. Иванова, д.т.н. В.В. Демьянов.

Разработана система мониторинга ионосферного полного электронного содержания (ПЭС) MITIGATOR (MonITorInG the Absolute TOtal electRon content). Система позволяет получать измерения абсолютного ПЭС и его производных по времени и пространству в режиме реального времени. Особенностью системы является то, что измерения проводятся на базе одного приемника сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) JAVAD. Время сходимости решения и время сохранения рабочего режима составляют ~8 ч. Продемонстрировано, что данная система может быть использована для оценки критической частоты ионосферы  $f_oF2$  с последующим расчетом максимальных частот радиосвязи на наклонных радиотрассах (рис. 2.2.2.9.1). Таким образом, разработанная система может быть полезна для поддержки мультиинструментального мониторинга ионосферы в режиме реального времени или для компенсации ионосферных погрешностей радиотехнических систем.

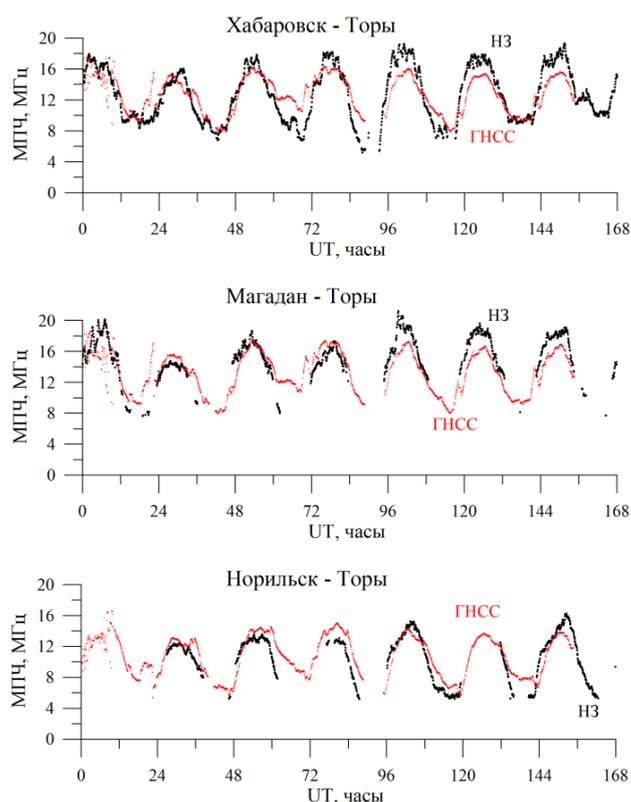


Рис. 2.2.2.9.1. Суточные вариации максимальной применимой частоты на трассах Хабаровск–Торы, Магадан–Торы и Норильск–Торы: черные точки — экспериментальные данные наклонного зондирования (НЗ); красные точки — оценки, полученные на основе адаптации ионосферной модели IRI-plas по данным ГНСС-ПЭС

#### Публикация:

Yasyukevich Y.V., Vesnin A.M., Kiselev A.V., Mylnikova A.A., Oinats A.V., Ivanova V.A., Demyanov V.V. MITIGATOR: GNSS-based system for remote sensing of ionospheric absolute total electron content // Universe. 2022. Vol. 8, iss. 2, 98. DOI:10.3390/universe8020098.

## 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 долговременных вариаций теплосодержания Мирового океана методом естественных (эмпирических) ортогональных функций

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.

На основе данных температурных профилей изучены вариации теплосодержания верхнего деятельного слоя (ВДС) энергоактивных районов Мирового океана методом естественных ортогональных функций (ЕОФ). Применение метода ЕОФ позволило выделить максимальный/сезонный сигнал в изменчивости температуры и изучить особенности пространственного распределения сезонных вариаций теплосодержания ВДС в средних и высоких широтах Северного полушария с 1950 по 2020 г. (рис. 2.2.3.1.1). Первая мода ЕОФ является основной и объясняет более 70 % общей дисперсии анализируемого параметра. Распределение первой моды ЕОФ характеризуется меридиональными структурами, которые имеют температурные различия между западными и восточными частями Атлантики и Тихого океана, возможно обусловленные радиационным прогревом и системами теплых течений. В отличие первой моды пространственное распределение второй (4.5 %) и третьей (2.6 %) гармоник имеет зональную ориентацию. Отрицательный вклад второй моды ЕОФ на периферии океанов может быть связан с сохранением остатков ледяного покрова более длительное время по сравнению со всей акваторией. Спектры первой и второй моды состоят из комбинации доминирующей годовой и менее выраженной полугодовой гармоник. В колебаниях амплитуды первой гармоники выявлены циклы с периодами, близкими к геофизическим периодам.

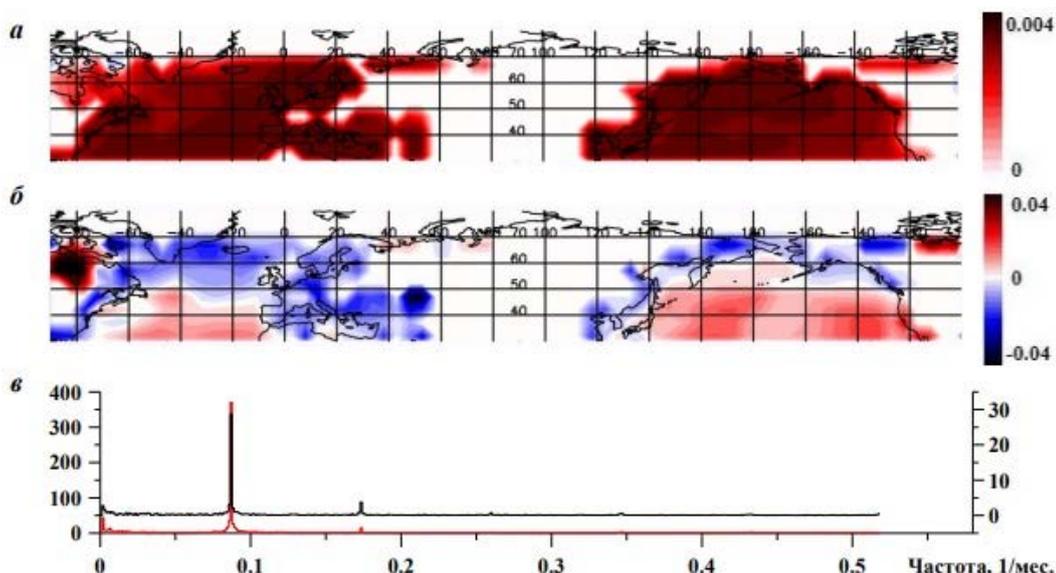


Рис. 2.2.3.1.1. Пространственное распределение первой (а) и второй (б) моды ЕОФ. Спектры первой (красная линия) и второй (черная линия) мод ЕОФ (в)

#### Публикация:

Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Empirical orthogonal functions in heat contents of the World ocean energetically active zones // Proc. SPIE. Vol. 12341: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2022. 123415W. DOI: 10.1117/12.2644682.

### 2.2.3.2. Изменение пространственного распределения отклика теплосодержания Мирового океана на вариации магнитного поля Солнца

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.

На основе наблюдательных данных проведено исследование пространственной структуры связи температуры поверхности океана (ТПО) и теплосодержания верхнего 100-метрового слоя океана с вариациями геомагнитной активности (рис. 2.2.3.2.1). Показано, что геомагнитная активность вносит значительный вклад в общую изменчивость температуры на временных масштабах более двенадцати месяцев. Усиление отклика температуры на геомагнитную активность наблюдается в областях поверхностных океанических течений в периоды отрицательной полярности полоидального магнитного поля Солнца. Это свидетельствует о том, что полоидальное магнитное поле Солнца оказывает существенное влияние на температуру океана вследствие модуляции поверхностных океанических течений. Данное влияние недостаточно отражается геомагнитными индексами, характеризующими степень возмущенности магнитного поля Земли, в основном связанную с динамическими процессами на Солнце.

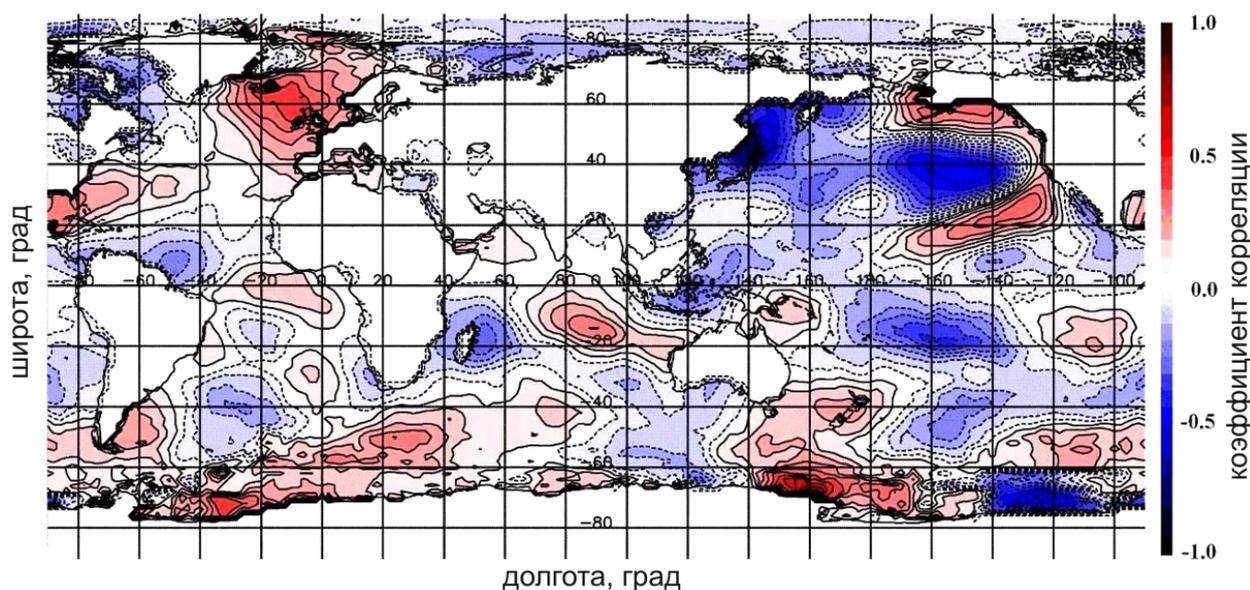


Рис. 2.2.3.2.1. Пространственное распределение разности коэффициентов корреляции ТПО с *Aa*-индексом геомагнитной активности в периоды отрицательной и положительной полярности полоидального магнитного поля Солнца с 1900 по 2020 г.

#### Публикация:

Molodykh S.I., Karakhanyan A.A. Spatial distribution of the World Ocean heat contents response to solar impact // Proc. SPIE. Vol. 12341: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2022. 1234178. DOI: 10.1117/12.2644686.

### 2.2.3.3. Межгодовые вариации атмосферной и ионосферной изменчивости в 24-м солнечном цикле

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. Толстикова.

По разработанной ранее методике проведено исследование межгодовых вариаций атмосферной и ионосферной изменчивости, вызванной активностью атмосферных волн различных временных масштабов в верхней атмосфере в 24-м солнечном цикле. Анализировались изменчивости температуры атмосферы на высоте мезопаузы ( $T_m$ ) и максимума электронной концентрации F2-области ( $N_mF2$ ) в Прибайкальском регионе в 2008–2020 гг. Были проанализированы также межгодовые вариации индексов солнечной ( $F10.7$ ) и геомагнитной ( $A_p$ ) активности и индекса Южной осцилляции ( $SOI$ ). Выявлено, что в 24-м цикле вариации  $F10.7$  опережают вариации  $A_p$  на  $\sim 1$  год на фазе роста и на  $\sim 2$  года на фазе спада. В поведении межгодовых вариаций межсуточной атмосферной изменчивости, обусловленной влиянием мигрирующих планетарных волн, наблюдается корреляция с вариациями  $SOI$  с пиком изменчивости в фазе Ла-Нинья и минимумом в фазе Эль-Ниньо (рис. 2.2.3.3.1, а, б). Анализ среднегодовой ионосферной возмущенности показал, что однозначно с  $A_p$  коррелирует только межсуточная ионосферная изменчивость (рис. 2.2.3.3.1, в).

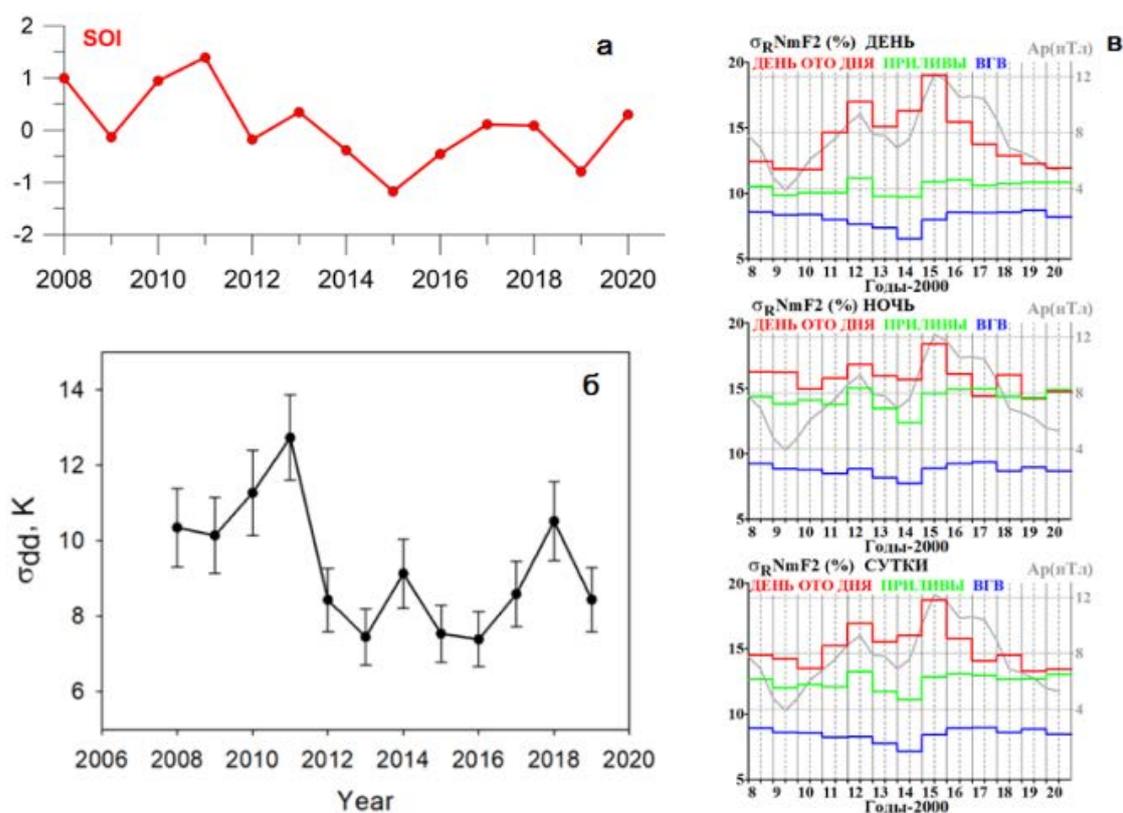


Рис. 2.2.3.3.1. Вариации среднегодовых значений  $SOI$  (а); межгодовые вариации межсуточной атмосферной изменчивости (б); вариации от года к году среднегодовой ионосферной возмущенности (в) для компонент, соответствующих вариациям ото дня ко дню (красный), в приливном диапазоне (зеленый) и диапазоне ВГВ (синий) с наложенными вариациями скользящей среднегодовой геомагнитной активности (серый) для дневных (вверху), ночных (в центре) и среднесуточных условий (внизу)

#### Публикации:

1. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V. Year-to-year changes in atmospheric and ionospheric variability in the 24th solar cycle // Proc. SPIE. Vol. 12341: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2022. 123410H. DOI: 10.1117/12.2644623.

2. Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстикова М.В. Межгодовые вариации атмосферной и ионосферной изменчивости в 24-м солнечном цикле // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXVIII Международного симпозиума. Электронный ресурс. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2022. С. А-84–А-87.

#### 2.2.3.4. Отклик системы ионосфера — термосфера в средних широтах Евразии на геомагнитные бури в марте 2012 г.

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. Черниговская, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев.

Выполнено исследование вариаций ионосферных и атмосферных параметров в Северном полушарии для серии магнитных бурь в марте 2012 г. на основе анализа данных евразийской среднеширотной цепи ионозондов и спутниковых измерений GUVI TIMED атмосферных составляющих на высотах термосферы. Показана сложная физика длительного магнитовозмущенного периода в марте 2012 г. (рис. 2.2.3.4.1, б) с переключением между положительной и отрицательной фазами ионосферной бури в один и тот же период магнитной бури для различных пространственных областей (рис. 2.2.3.4.1, а). Развитие отклика ионосферы в области средних широт на серию магнитных бурь в марте 2012 г. зависит от наложения взаимно конкурирующих процессов в системе ионосфера — термосфера, связанных со смещением области главного ионосферного провала к экватору, с эффектом экваториального супер-фонтана, сформировавшегося в период магнитных бурь 7–10 марта 2012 г., а также с динамикой глобальных перемещений областей пониженного или повышенного отношения плотности  $[O]/[N_2]$  в зональном и меридиональном направлениях над исследуемым регионом средних широт Евразии (рис. 2.2.3.4.1, в).

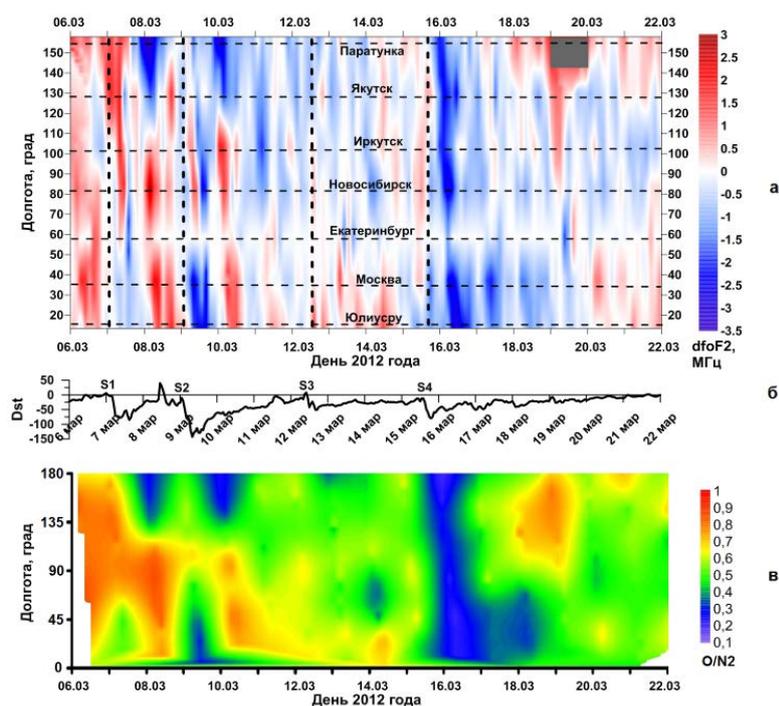


Рис. 2.2.3.4.1. Долготно-временные вариации абсолютных отклонений  $df_0F_2$  по данным среднеширотной цепи ионозондов (а); временные вариации индекса гелиогеомагнитной активности  $Dst$  (б); долготно-временное распределение отношения плотности  $[O]/[N_2]$  по измерениям GUVI TIMED (в) для серии бурь в марте 2012 г. (UT)

#### Публикация:

Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Хабитуев Д.С. Отклик системы «ионосфера — термосфера» над регионом средних широт Евразии на геомагнитные бури в марте 2012 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 5. С. 303–315. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-303-315.

### 2.2.3.5. Сезонные проявления геомагнитной активности на высотах слоя F1 на станции Иркутск (2004–2014 гг.)

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. Г.П. Кушнарченко<sup>†</sup>, О.Е. Яковлева, Г.М. Кузнецова.

Исследовано воздействие геомагнитных возмущений на электронную концентрацию  $N_e$  на высотах слоя F1 (150–190 км) по данным ионосферной станции Иркутск. Рассмотрены геомагнитные бури разной интенсивности для зимних и летних сезонов в условиях различной солнечной активности в 2004–2014 гг. Проанализированы несколько временных периодов, содержащих большое количество возмущенных дней, в летние (май–август) и зимние (январь–февраль, ноябрь–декабрь) месяцы (рис. 2.2.3.5.1). Обнаружено, что летние возмущения почти не влияли на ионизацию на высотах 150–190 км. В зимние сезоны при разных уровнях солнечной активности на всех высотах слоя F1  $N_e$  менялась незначительно (<10 %) во время рассмотренных геомагнитных событий. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что  $N_e$  на высотах 150–190 км слабо реагирует на воздействие слабых и умеренных геомагнитных бурь в зимние и летние сезоны при различном уровне солнечной активности. Таким образом, на высотах слоя F1 в поведении  $N_e$  не проявляется зимне-летняя асимметрия отклика на геомагнитные бури.

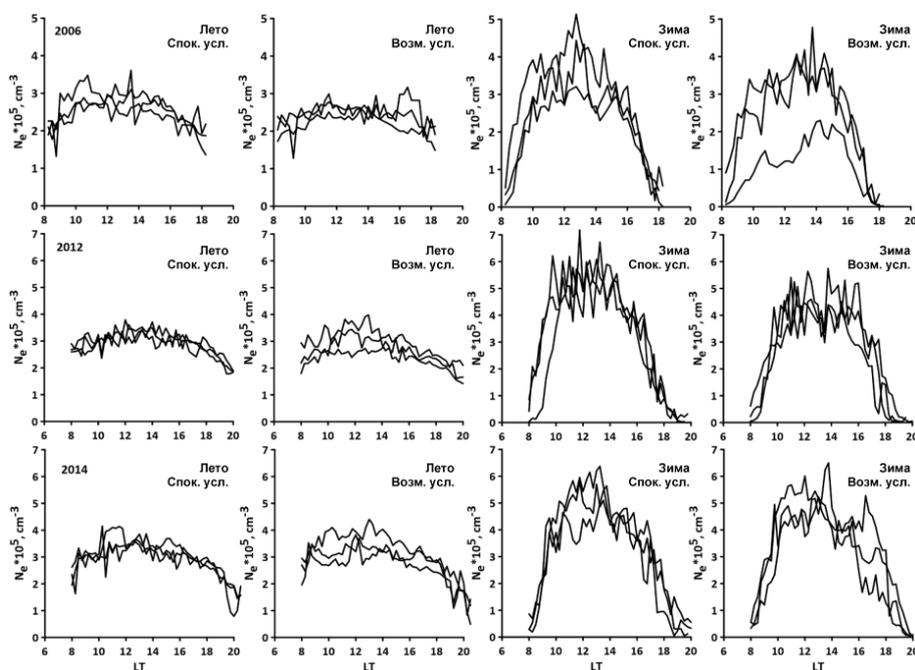


Рис. 2.2.3.5.1. Поведение  $N_e$  на высоте 190 км в спокойные и возмущенные дни летнего и зимнего периодов в 2006, 2012 и 2014 гг.

#### Публикации:

1. Kushnarenko G.P., Kuznetsova G.M., Yakovleva O.E. Daytime electron density at ionospheric F1-layer heights during geomagnetic storms (Irkutsk) // *Solar-Terrestrial Physics*. 2022. Vol. 8, iss. 1. P. 58–61. DOI: 10.12737/stp-81202207.

2. Яковлева О.Е., Кушнарченко Г.П., Кузнецова Г.М. Сезонные проявления геомагнитной активности на высотах слоя F1 на станции Иркутск в разные временные периоды // Труды XV Международной Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 5–9 июля 2022 г. Томск: ИОА СО РАН, 2022. С. 1–4. URL: [https://symp-pv.iao.ru/files/symp/sys/15/ru/abstr\\_14212.pdf](https://symp-pv.iao.ru/files/symp/sys/15/ru/abstr_14212.pdf).

### 2.2.3.6. Эффекты геомагнитных возмущений в поведении дневной электронной концентрации слоя F1 на станции Норильск

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. Г.П. Кушнарченко<sup>†</sup>, О.Е. Яковлева, Г.М. Кузнецова.

Исследованы изменения электронной концентрации  $N_e$  на высотах слоя F1 во время геомагнитных бурь на ионосферной станции Норильск. Геомагнитные бури разной интенсивности, а также спокойные дни были выбраны для зимнего и летнего сезонов 2003 г., характеризующегося большим количеством возмущенных дней. Анализ поведения  $N_e$  во время возмущений выполнен для дневных условий на высотах 150–190 км. На этих высотах воздействие всех рассмотренных геомагнитных бурь во все сезоны состояло в уменьшении значений  $N_e$  (рис. 2.2.3.6.1). В то же время обнаружены различия в интенсивности эффектов геомагнитных бурь в различные сезоны (рис. 2.2.3.6.1). Во время летних бурь регистрировались незначительные изменения  $N_e$  на всех рассматриваемых высотах. В зимний период на всех высотах наблюдалось существенное уменьшение  $N_e$  на главной фазе бури. Все зимние бури оказывали наиболее сильное воздействие на  $N_e$  на высоте 190 км и в меньшей степени на нижних высотах. Полученные результаты указывают на летне-зимнюю асимметрию проявления геомагнитных бурь в поведении электронной концентрации на высотах слоя F1 на высокоширотной станции Норильск в 2003 г.

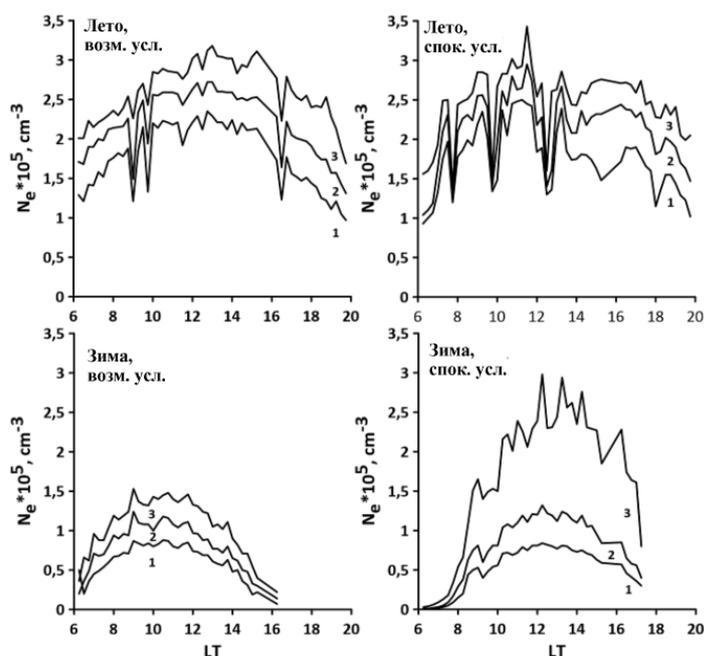


Рис. 2.2.3.6.1. Вариации  $N_e$  на высотах 150 км (1), 170 км (2), 190 км (3) в летний (вверху) и зимний (внизу) сезоны в возмущенные (слева) и в спокойные (справа) дни. Для лета в качестве возмущенного и спокойного выбраны 152-й и 190-й дни года, для зимы — 58-й и 55-й дни года соответственно

#### Публикация:

Яковлева О.Е., Кушнарченко Г.П., Кузнецова Г.М. Эффекты геомагнитных возмущений в дневной электронной плотности на высотах слоя F1 (ст. Норильск) // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике (БШФФ-2022). Иркутск, 5–12 сентября 2022 г. Труды XVII конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 340–342.

### 2.2.3.7. Сибирская сеть SibNet приемников ГНСС: мониторинг ионосферы и геодинамические исследования

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. Ю.В. Ясюкевич, А.М. Веснин.

В современном понимании система Солнце – солнечный ветер – магнитосфера – ионосфера – атмосфера – литосфера является сложной и нелинейно связанной. При ее изучении актуальным оказывается использование научных геофизических инструментов для решения мультидисциплинарных задач, например для исследования литосферно-ионосферных взаимодействий.

Сибирская сеть SibNet приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), созданная в ИСЗФ СО РАН в 2011 г., входит в состав ЦКП «Ангара». В настоящее время SibNet включает десять приемных пунктов и успешно дополняет станции сетей EFT-CORS и NIVE, действующие в Прибайкалье (рис. 2.2.3.7.1, а). Основное назначение сети SibNet — мониторинг состояния ионосферы, однако сеть может использоваться и для проведения геодинамических исследований. Возможности сети при мониторинге землетрясений иллюстрирует рис. 2.2.6.7.1, б. Землетрясение магнитудой 5.4 произошло вблизи оз. Байкал 21 сентября 2020 г. Наиболее близко расположенными к эпицентру оказались станции сети SibNet. На рис. 2.2.3.7.1, б показано изменение высоты антенн на станциях LIST, MOND, TORY (одностанционное высокоточное решение Precise point positioning). После землетрясения произошел сбой измерений навигационного приемника TORY, поэтому в данных станции имеется пропуск. Около 20 UT (через ~2 ч после землетрясения) на разных станциях наблюдаются вариации высоты, причем наибольшие отклонения соответствуют приемнику TORY, находившемуся ближе всего к эпицентру. Похожий эффект был зарегистрирован на станциях постоянных ГНСС-измерений ИЗК СО РАН через ~40 мин после Кударинского землетрясения 9 декабря 2020 г.

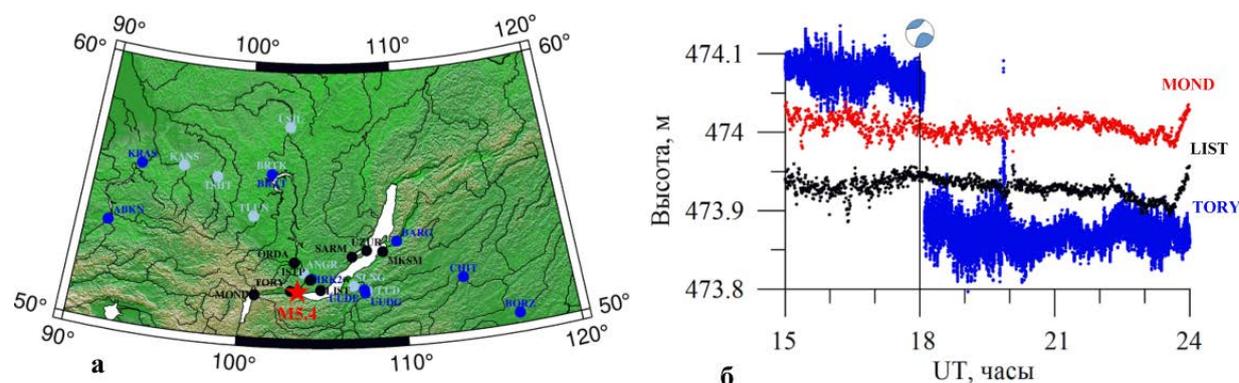


Рис. 2.2.3.7.1. Постоянно действующие сети приемников ГНСС в Прибайкальском регионе (а): SibNet (черные точки), NIVE (синие точки), EFT-CORS (голубые точки). Красной звездой отмечен эпицентр землетрясения 21 сентября 2020 г. Изменение высоты антенн на станциях LIST, MOND, TORY сети SibNet во время этого землетрясения (б). Линия отмечает момент землетрясения. Большой шум в данных станции TORY связан с более высоким временным разрешением

#### Публикация:

Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M. Shared Research Facilities “Solar-Terrestrial Physics and Control of Near-Earth Space” (“The Angara”) as applied for geodynamics and tectonophysics // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. Vol. 13, no. 2, 0593. 7p. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0593.

### 2.2.3.8. Поведение ионосферы во время Кударинского землетрясения 9 декабря 2020 г.

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 — д.ф.-м.н. Н.П. Перевалова, к.ф.-м.н. И.К. Едемский.

Данные приемников ГНСС Сибирской сети SibNet, а также методы и алгоритмы, разработанные в ИСЗФ СО РАН для обработки данных ГНСС, использовались при анализе поведения ионосферы во время Кударинского землетрясения ( $M_w=5.6$ ), зарегистрированного 09 декабря 2020 г. Измерения SibNet были дополнены данными ГНСС-сетей ИЗК СО РАН, IGS, EFT-CORS, NIVE (рис. 2.2.3.8.1, а). На основе двухчастотных фазовых измерений были рассчитаны и отфильтрованы в диапазоне периодов 1–10 мин ряды наклонного полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере вдоль лучей приемник ГНСС — спутник ГНСС. Был рассчитан также индекс *ROTI* как среднеквадратичное отклонение скорости изменения ПЭС на интервале времени 5 мин. Землетрясение произошло в спокойных геомагнитных условиях, что повышало вероятность выделения вызванных им возмущений.

Анализ вариаций ПЭС и *ROTI* на лучах, проходивших на расстояниях до 350 км от эпицентра в момент главного толчка, не выявил возмущений, обусловленных Кударинским землетрясением. На рис. 2.2.3.8.1, а показаны проекции траекторий лучей, для которых расстояние до эпицентра на высоте главного максимума ионизации ( $h_{max}=300$  км) не превышало 200 км. Примеры вариаций ПЭС и *ROTI* на этих лучах приведены на рис. 2.2.3.8.1, б. Отсутствие возмущений связано прежде всего с относительно малой магнитудой Кударинского землетрясения: амплитуда вызванных им атмосферных волн, вероятно, оказалась слишком незначительной для того, чтобы привести к заметным возмущениям в ионосфере.

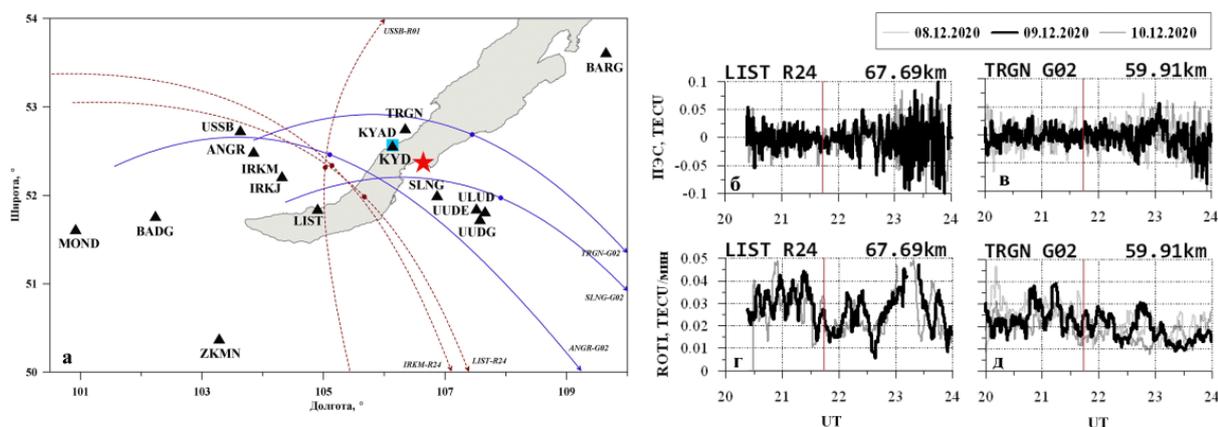


Рис. 2.2.3.8.1. Геометрия измерений во время Кударинского землетрясения 09.12.2020 (а): звездочка — эпицентр землетрясения; треугольники — станции ГНСС; квадрат — сейсмостанция KYD; линии со стрелками — проекции траекторий спутников GPS (сплошные линии, G) и ГЛОНАСС (пунктирные линии, R) на высоте  $h_{max}=300$  км в 20:00–24:00 UT 09.12.2020; точками на траекториях отмечено положение спутников в момент землетрясения. Примеры вариаций отфильтрованного ПЭС (б, в) и индекса *ROTI* (г, д). Момент землетрясения отмечен красной линией. Над панелями приведено название луча и его расстояние до эпицентра в момент землетрясения на высоте  $h_{max}=300$  км

#### Публикация:

Dobrynina A.A., Perevalova N.P., Sankov V.A., Edemsky I.K., Likhnev A.V. Analysis of the seismic and ionospheric effects of the Kudarynsky earthquake on December 9, 2020. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. Vol. 13, no. 2s, 0622. 7p. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0622.

### 2.2.3.9. Исследование точности операционных ионосферных моделей

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. Ю.В. Ясюкевич, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич, Д.А. Затолокин.

В настоящее время существует ряд моделей для коррекции ионосферной ошибки глобальных навигационных спутниковых систем. Точность моделей может существенно зависеть от локального времени, сезона, широты и геофизических условий. Проведен анализ точности четырех наиболее известных моделей: Klobuchar (используемая в GPS), ГЛОНАСС (ГЛОНАСС), BDGIM (BeiDou), а также эмпирической модели GEMTEC. В качестве эталона использованы данные полного электронного содержания глобальных карт ионосферы GIM UQRG (рис. 2.2.3.9.1, а). Точность моделей оценивалась исходя из значений ПЭС, которые они представляют (пример распределения представлен на рис. 2.2.3.9.1, а–г), а также точности позиционирования в одночастотном режиме (рис. 2.2.3.9.1, д, е). Использовались данные шести станций ГНСС за двадцатилетний период 2000–2020 гг.

Показано, что для всех моделей выражена зависимость точности определения ПЭС и координатного решения от уровня солнечной активности. При высоком уровне солнечной активности ( $F10.7 > 250$  с.е.п.) коррекция по моделям Klobuchar, ГЛОНАСС и GEMTEC приводит к ухудшению точности решения по сравнению с некорректированным. Использование модели Klobuchar может приводить к ухудшению точности трехмерного позиционирования в ~20–45 % случаев. Ухудшение решения чаще регистрируется в высоких и средних широтах (~40 %), реже — в экваториальных (~20 %), что связано с неверной оценкой ПЭС моделью. Сделан вывод, что наибольшей точностью характеризуются модели BDGIM и GEMTEC.

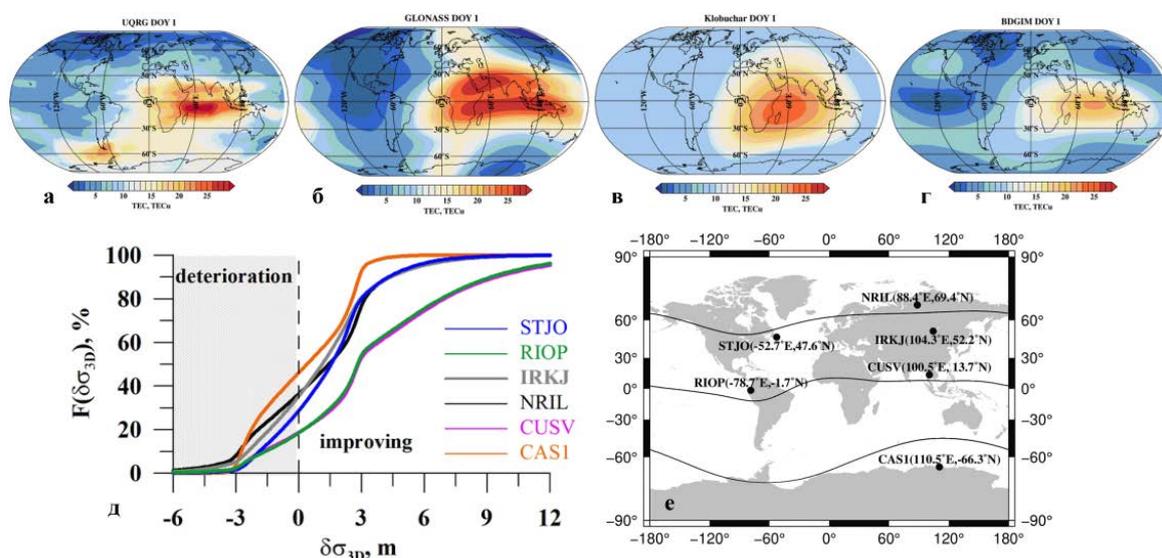


Рис. 2.2.3.9.1. Карты ионосферного полного электронного содержания UQRG для 12:00 UT 1 января 2020 г. и аналогичные карты для моделей ГЛОНАСС, Klobuchar, BDGIM (а–г). Кумулятивная функция распределения (д) разности ошибок при коррекции с использованием модели Klobuchar и без коррекции. Карта станций (е)

#### Публикация:

Yasyukevich Y.V., Yasyukevich A.S., Zatolokin D.A. Assessing the performance of models for ionospheric correction for single-frequency GNSS positioning // 2022 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS). 2022. P. 1023–1028. DOI: 10.1109/PIERS55526.2022.9792988.

### 2.2.3.10. Струйное течение и характеристики волновых возмущений в зимней стратосфере и нижней мезосфере Северного полушария

Грант РФФ № 20-77-00070 «Пространственные и спектральные характеристики ионосферных возмущений, связанных с развитием неустойчивостей в зимнем стратосферном циркумполярном вихре». Руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич, к.ф.-м.н. М.А. Черниговская, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич

Проанализированы характеристики мелкомасштабных волновых возмущений, возникающих при эволюции и трансформации струйного течения в зимней стратосфере и нижней мезосфере Северного полушария во время сильных (major) внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Показано, что даже в спокойных геомагнитных условиях в области устойчивого струйного течения происходит непрерывная генерация волновых возмущений с параметрами внутренних гравитационных волн (ВГВ). Трансформация струйного течения перед началом ВСП приводит к усилению возмущений и увеличению их масштабов (рис. 2.2.3.10.1, а, б). Разрушение струйного течения после максимума ВСП вызывает ослабление генерации и снижение амплитуд волновых возмущений (рис. 2.2.3.10.1, в, г). Таким образом, получено экспериментальное доказательство, что струйное течение является основным источником генерации ВГВ в стратосфере — нижней мезосфере. Данный результат позволяет интерпретировать неоднократно наблюдавшееся снижения активности ВГВ в верхних слоях атмосферы во время ВСП как прекращение генерации волн в стратомезосфере из-за ослабления/разрушения струйного течения.

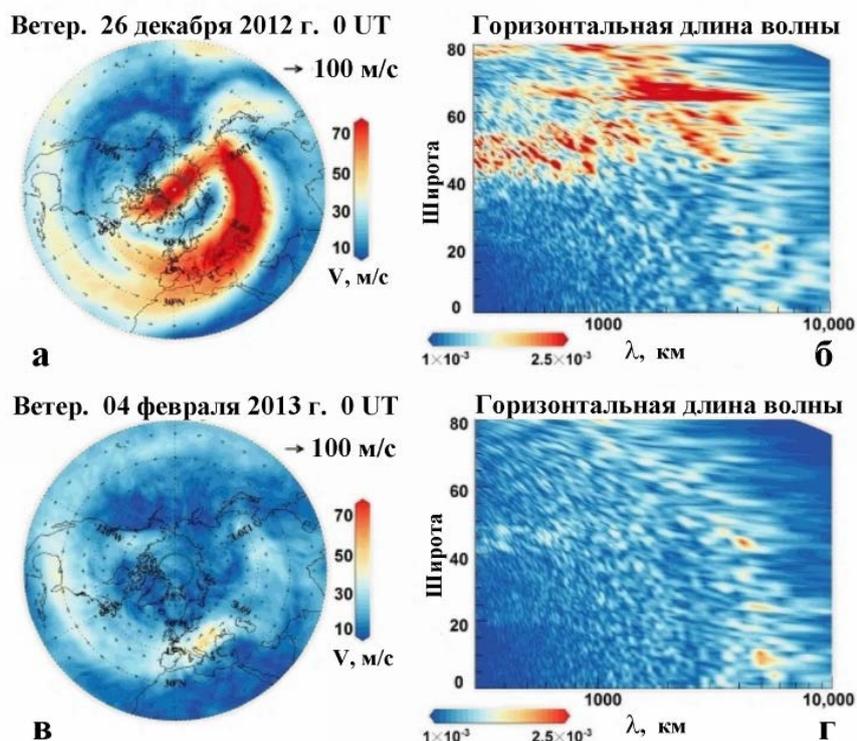


Рис. 2.2.3.10.1. Горизонтальный ветер (а, в) и спектральные плотности волновых возмущений (б, г) на разных широтах в средней стратосфере (уровень 10 гПа) перед (26.12.2012) и после (04.02.2012) максимума сильного ВСП. Максимум ВСП наблюдался 06.01.2013

#### Публикация:

Yasyukevich A.S., Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Khabituev D.S., Yasyukevich Y.V. Features of winter stratosphere small-scale disturbance during sudden stratospheric warmings // Remote Sens. 2022. Vol. 14, 2798. DOI: 10.3390/rs14122798.

## 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. Реакция излучения верхней атмосферы Земли на Хубсугульское землетрясение 11 января 2021 года

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. Авторы результата — д.г.-м.н. А.В. Ключевский<sup>1</sup>, д.ф.-м.н. А.В. Михалев<sup>2</sup>, чл.-корр. А.В. Медведев<sup>2</sup>, В.М. Демьянович<sup>1</sup>.

1 — ИЗК СО РАН, Иркутск, Россия; 2 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

Рассмотрено поведение излучения верхней атмосферы Земли в эмиссии [OI] 557.7 нм в период Хубсугульского землетрясения 11 января 2021 г. Зарегистрированные через несколько минут после землетрясения вариации интенсивности эмиссии [OI] 557.7 нм интерпретируются как возможный отклик верхней атмосферы на сейсмическое событие. В качестве возможной причины возмущения излучения атмосферы рассматриваются акустико-гравитационные и внутренние гравитационные волны, распространяющиеся из эпицентральной зоны землетрясения и возникшие над пунктом наблюдения при прохождении сейсмических волн.

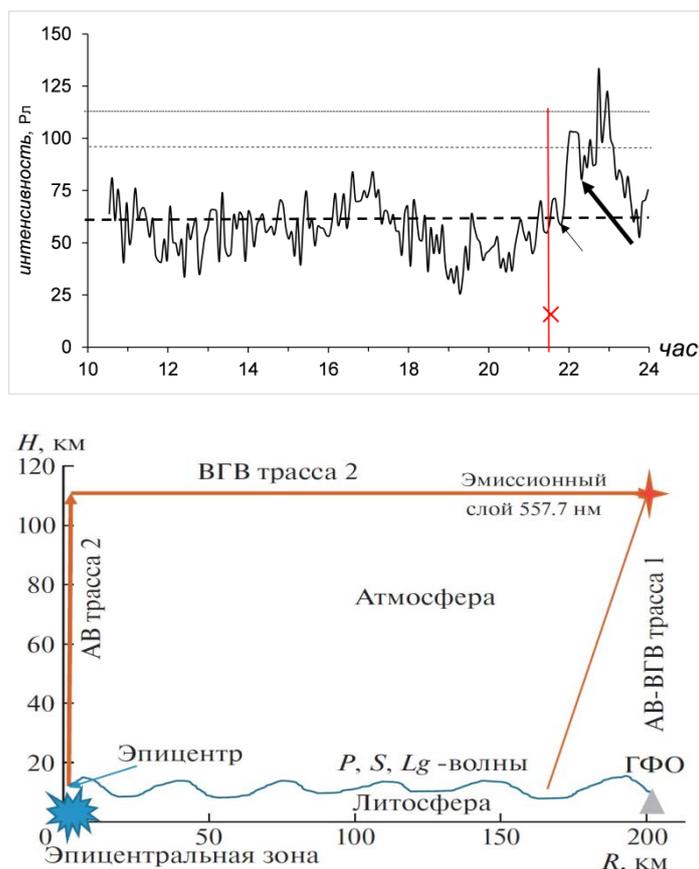


Рис. 2.2.4.1.1. Вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм 11.01.2021 (вверху) и схема распространения АВГВ и ВГВ (внизу)

#### Публикация:

Ключевский А.В., Михалев А.В., Медведев А.В., Демьянович В.М. Излучение верхней атмосферы Земли в эмиссии [OI] 557.7 нм в связи с Хубсугульским землетрясением 11 января 2021 года (юго-западный фланг Байкальской рифтовой зоны) // Доклады РАН. Наука о Земле. 2022. Т. 504, № 2. С. 195–199. DOI: 10.31857/S2686739722060081.

#### 2.2.4.2. Оптические эффекты полета ракеты-носителя «Протон-М» со спутником «Ямал-601» в дальней от места старта зоне

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. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.В. Михалев, к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий, к.ф.-м.н. В.П. Лебедев, к.ф.-м.н. Сыренова Т.Е., к.ф.-м.н. В.В. Хахинов.

Исследовались эффекты в собственном излучении верхней атмосферы Земли во время запуска спутника «Ямал-601» 30.05.2019 на основе данных оптического комплекса ИСЗФ СО РАН. Измерения проводились в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. По данным камеры КЕО Sentinel регистрировалась протяженная область свечения вдоль траектории пролета, которая сформировалась через ~2–4 мин после пролета космического аппарата над ГФО и сохранялась ~20 мин. Пространственные масштабы поперек траектории пролета КА оцениваются ~95–110 км в предположении высоты высвечивания ~150 км (~190–220 км для высоты высвечивания ~300 км). В работе обсуждаются возможные механизмы образования наблюдаемой области свечения, в том числе связанные с физико-химическим взаимодействием продуктов сгорания топлива с атмосферными составляющими и влиянием распространения ударной волны или короткопериодных внутренних гравитационных волн. Рассмотрены возможные причины наблюдаемой задержки появления свечения после пролета КА.

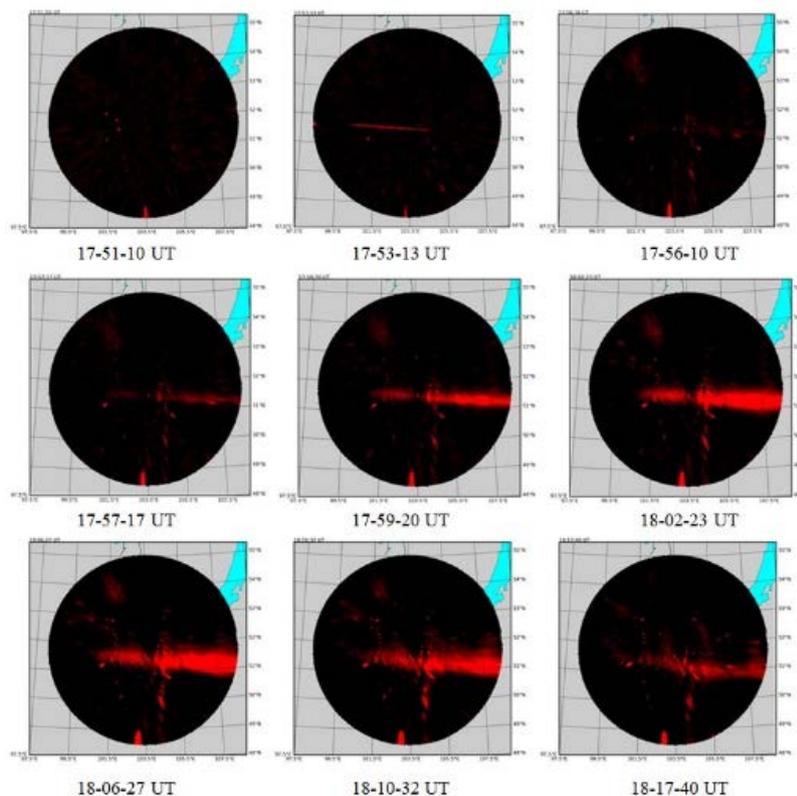


Рис. 2.2.4.2.1. Контрастированные изображения, полученные с помощью камеры КЕО Sentinel в интервале времени 17:51– 18:17 UT 30 мая 2019 г.

#### Публикация:

Михалев А.В., Белецкий А.Б., Лебедев В.П., Сыренова Т.Е., Хахинов В.В. Оптические эффекты полета ракеты-носителя «Протон-М» со спутником «Ямал-601» в дальней от места старта зоне // *Космические исследования*. 2022. Т. 60, № 2. С. 125–133. DOI: 10.31857/S0023420622020054.

### 2.2.4.3. Излучение эмиссии 557.7 нм, индуцированное мощным радиоизлучением стенда СУРА на высотах спорадического слоя E

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. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий<sup>1</sup>, И.Д. Ткачев<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. И.А. Насыров<sup>2</sup>, д.ф.-м.н. С.М. Грач<sup>3</sup>, к.ф.-м.н. Д.А. Когогин<sup>2</sup>, к.ф.-м.н. А.В. Шиндин<sup>3</sup>, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев<sup>1</sup>

1 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 2 — КФУ, Казань, Россия; 3 — ННГУ, Нижний Новгород, Россия

В ходе эксперимента 5 сентября 2021 г. впервые было обнаружено увеличение интенсивности излучения 557.7 нм, индуцированного мощным радиоизлучением стенда «Сура» при развитии спорадического слоя Es, частично блокирующего нагрев F-области ионосферы. Последнее определялось сильным уменьшением измеренной интенсивности искусственного радиоизлучения ионосферы (ИРИ), исчезновением генерации эмиссии 630 нм, а также сильным уменьшением аномального поглощения. Ранее аналогичное усиление свечения зеленой линии в присутствии слоя Es было получено в январе 1998 г. на нагревательном стенде в Аресибо. С тех пор о таких результатах в литературе не сообщалось. Возбуждение излучения 557.7 нм связано с тем, что на высотах Es-слоя (~100–120 км) поток энергии волны накачки оказывается достаточно большим, чтобы абсолютная параметрическая неустойчивость привела к возникновению ленгмюровских волн и ускорению электронов до энергий >4.17 эВ, достаточных для возбуждения уровня O(1S), ответственного за генерацию излучения 557.7 нм.

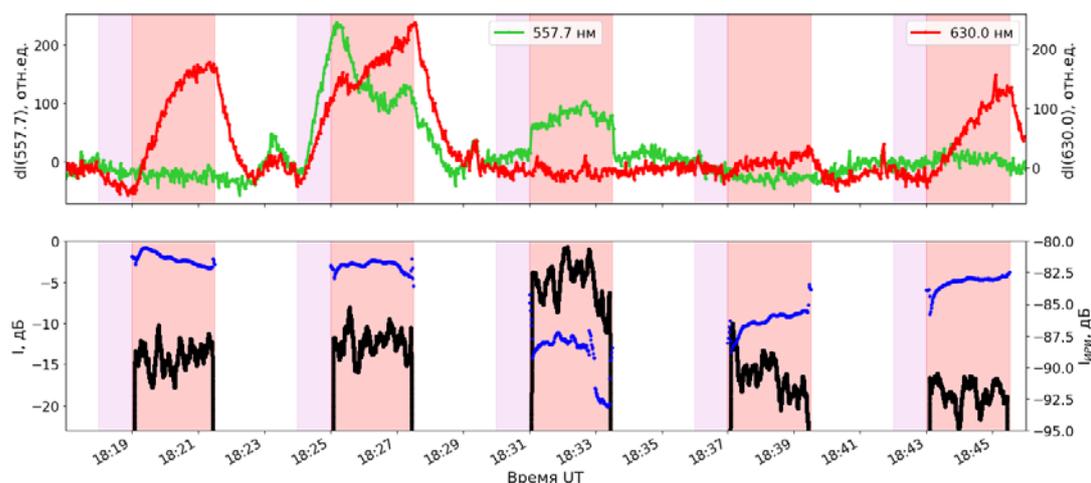


Рис. 2.2.4.1.3. Вариации интенсивности эмиссий 557.7 нм и 630.0 нм с удаленным трендом по данным фотометра за 5 сентября 2021 г. (верхняя панель, время интегрирования 1 с), а также отраженного коротковолнового излучения (черная линия) и интенсивности ИРИ (синяя линия), усредненной в частотном диапазоне  $6.2 \text{ кГц} < f_{\text{ИРИ}} - f_0 < 6.8 \text{ кГц}$ , (нижняя панель)

#### Публикации:

1. Beletsky A.V., Tkachev I.D., Nasyrov I.A., Grach S.M., Kogogin D.A., Shindin A.V., Vasilyev R.V. Some results of photometric measurements of ionospheric artificial airglow at 557.7 and 630 nm lines of atomic oxygen caused by high-frequency radio emission of the SURA facility // Atmosphere. 2022. Vol. 13, no. 11, 1794. DOI: 10.3390/atmos13111794.

2. Белецкий А.Б., Ткачев И.Д., Насыров И.А., Грач С.М., Когогин Д.А., Шиндин А.В. Предварительные результаты фотометрии эмиссий атомарного кислорода 557.7 и 630 нм, индуцированных радиоизлучением стенда «Сура» // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 184–192. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-184-192.

#### 2.2.4.4. Методика исследования инфразвуковых волн от гроз

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. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.Г. Сорокин, В.А. Добрынин.

Для оценки акустического возмущения давления и его формы при молниевом разряде во время грозы используется линеаризованная система уравнений гидродинамики без учета сил гравитации, вязкости и теплопроводности. Заряженный слой облака представляется в виде простого одномерного заряженного слоя с гауссовым распределением плотности зарядов. Зависимость напряженности электрического поля в заряженном слое облака от роста числа заряженных капель и образование инфразвукового импульса разрежения после резкого снижения числа зарядов и напряженности электрического поля при молниевом разряде описывается с использованием теоремы Остроградского — Гаусса и предположения о статическом равновесии — равенстве электрической силы и градиента давления. При стекании заряда в молниевый канал при разряде в грозовом облаке амплитуда возмущения давления, за счет понижения электростатического поля, снизится на величину  $\Delta p = \varepsilon_0 E_0^2 / 2$ , откуда можно оценить величину электрического поля в грозовом слое. Методика была апробирована для исследования реальных инфразвуковых сигналов от гроз.

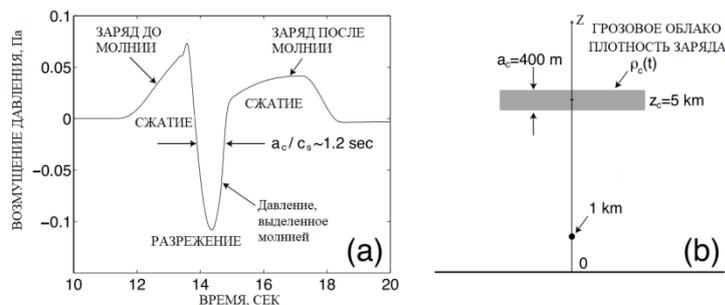


Рис. 2.2.4.4.1. Оценка формы инфразвукового сигнала от грозового облака перед молниевым разрядом и после (a). Модель грозового облака (b) (с разрешения John Wiley and Sons and Copyright Clearance Center, License Number 5158670709190, 30 Sep. 2021)

#### Публикация:

Сорокин А.Г., Добрынин В.А. О методике исследования инфразвуковых волн от гроз // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 1. С. 62–69. DOI: 10.12737/szf-81202208.

#### 2.2.4.5. Нормальные моды как причина крупномасштабных колебаний в тропосфере и стратосфере

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. Авторы результата — к.ф.-м.н. В.И. Мордвинов, к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева.

Изучен один из возможных механизмов раскачки низкочастотных зонально-симметричных колебаний в средней атмосфере — собственные колебания среднего потока, обусловленного циклоническим вихрем над полюсом и высокоширотным антициклоном. Для расчетов использовалась баротропная квазигеострофическая модель. Условие применимости данной модели является конвективная устойчивость течения. Это условие выполняется в средней атмосфере и, возможно, в тропосфере, но только для крупномасштабных процессов. Оказалось, что некоторые из наиболее неустойчивых мод комбинации «циклонический вихрь над полюсом плюс антициклон» в высоких широтах действительно напоминают колебания, развивающиеся в атмосфере, в частности, крутильные колебания.

Для исследования вертикальной структуры низкочастотных колебаний в тропосфере и стратосфере использован метод одноточечных корреляций со сдвигом во времени. Расчеты интегральных характеристик корреляционных полей показали, что низкочастотные колебания, возникающие в тропосфере, слабо проникают в верхние слои атмосферы (рис. 2.2.4.5.1, левые панели). Однако возмущения, развивающиеся в стратосфере, можно проследить в верхней части тропосферы (рис. 2.2.4.5.1, правые панели). Анализ пространственной структуры корреляционных полей подтвердил выводы, полученные по интегральным характеристикам. Можно предположить, что горизонтальная структура возмущений складывается под влиянием структуры поля скорости на каждом из уровней, при этом сам источник возмущений может иметь баротропный характер и развиваться почти синхронно во всей стратосфере и, возможно, тропосфере. Баротропный характер возмущений позволяет предположить, что использованная для изучения неустойчивостей квазигеострофическая баротропная модель неплохо описывает реальные динамические процессы в средней атмосфере.

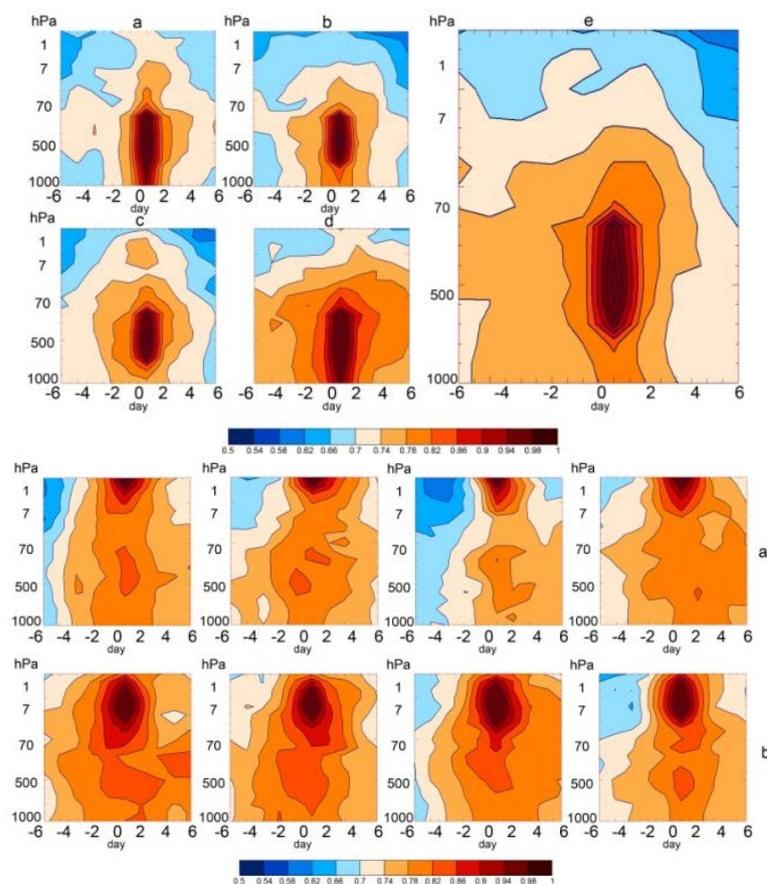


Рис. 2.2.4.5.1. Левые панели — распределения по вертикали и в зависимости от сдвига по времени максимальных значений абсолютных величин коэффициентов корреляции вариаций высот изобарических поверхностей  $hgt$  относительно реперного ряда их вариаций в точках вдоль широтного круга  $55^\circ$  с.ш. с координатами по долготе  $20^\circ$ ,  $110^\circ$  в.д.;  $70^\circ$ ,  $160^\circ$  з.д. (a–d) на изобарической поверхности 500 гПа, усредненных за период с 1985 по 1995 г., а в точке с координатами  $55^\circ$  с.ш.,  $110^\circ$  в.д. — за период с 1979 по 1989 г. (e). Правые панели — распределения максимальных значений абсолютных величин коэффициентов корреляции вариаций высот изобарических поверхностей  $hgt$  относительно реперного ряда их вариаций в точках вдоль широтного круга  $55^\circ$  с.ш. с координатами по долготе  $20^\circ$ ,  $110^\circ$  в.д.,  $70^\circ$ ,  $160^\circ$  з.д. (слева направо) на изобарических поверхностях 1 гПа (a) и 10 гПа (b), усредненных за период с 1985 по 1995 г.

#### Публикация:

Мордвинов В.И., Зоркальцева О.С. Нормальные моды как причина крупномасштабных колебаний в тропосфере и стратосфере // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58, № 2. С. 1–11. DOI: 10.31857/S0002351522020092.

#### 2.2.4.6. Исследование условий наблюдений в оптических обсерваториях 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. Авторы результата — к.ф.-м.н. Е.В. Девятова<sup>1</sup>, С.В. Подлесный<sup>1</sup>, к.г.н. Е.А. Кочугова<sup>2</sup>, М.С. Цыденжапов<sup>2</sup>, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев<sup>1</sup>.

1 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 2 — ИГУ, Иркутск, Россия

Оптическое излучение, проходя сквозь атмосферу, подвергается различным искажениям, что сказывается на качестве данных как астрономических наблюдений, так и наблюдений собственного свечения атмосферы. Важными факторами, влияющими на качество оптических наблюдений, являются фаза лунного цикла и метеорологические условия. Для обсерваторий ИСЗФ СО РАН было осуществлено исследование динамики облачности на различных временных масштабах по данным спутников NOAA, реанализа ECMWF ERA5 и широкоугольной цифровой фотокамеры ФИЛИН-1Ц. Предложенные методы определения облачного покрова пригодны как средство оперативного мониторинга и могут быть использованы при автоматизации анализа данных оптических инструментов. Исследования состояния прозрачности на временном масштабе несколько десятилетий показали, что данные ERA5 дают сильно заниженные значения индекса засушливости по сравнению с наблюдениями для всех летних месяцев. Причина заключается в занижении количества осадков в проекте ERA5 по сравнению с данными наблюдений. Для того чтобы делать предположения относительно характера изменений условий наблюдений на ближайшие годы и десятилетия, следует разобраться в причинах этих несоответствий.

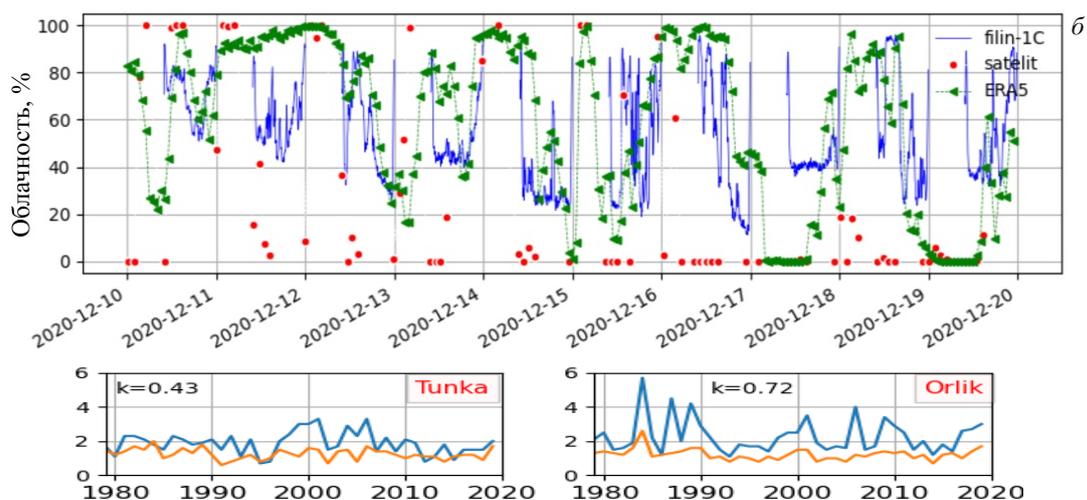


Рис. 2.2.4.6.1. Верхняя панель — динамика облачного покрова по результатам прямых наблюдений (синий), картам реанализа (зеленый) и спутниковым данным (красный). Нижние панели — индекс засушливости Селянинова по данным прямых наблюдений (синие кривые) и реанализа (оранжевые кривые)

#### Публикации:

1. Devyatova E., Podlesnyi S., Vasilyev R. Comparing methods to estimate cloud at the Geophysical Observatory of the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS (Tory, Republic of Buryatia, Russia) in December 2020 // Environ. Sci. Proc. 2022. Vol. 19, 60. DOI: 10.3390/ecas2022-12852.

2. Devyatova E., Kochugova E., Cydenzapov M. Comparison of Selyaninov's hydrothermal coefficient (aridity criterion) over Buryatia, Russia, in the SUMMER PERIOD FROM 1979 to 2019 according to meteorological stations and ECMWF ERA5 // Environ. Sci. Proc. 2022. Vol. 19, 55. DOI: 10.3390/ecas2022-12805.

#### 2.2.4.7. Цветовые и спектральные характеристики долгоживущего метеорного следа, образованного Тункинским болидом

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.

Рассмотрены цветовые характеристики и возможный спектральный состав излучения долгоживущего (~ 40 мин) метеорного следа необычной формы, образованного пролетом болида в Тункинской долине 17 ноября 2017 г. Анализ динамики красного, синего и зеленого каналов цветного изображения метеорного следа показал, что в излучение метеорного следа в первые 8 мин мог вносить вклад ионизационный след. Ионизационный след был образован нагретыми до высоких температур на поверхности основного метеороида и отделившимися от него частицами нейтральных и ионизованных компонент метеорного вещества. Этот механизм вносил вклад в излучение метеорного следа в период существования ионизационного следа (первые ~ 480 с). Был рассмотрен также обсуждаемый в литературе механизм гетерогенных химических реакций, которые происходят на поверхности метеорной пыли (FeS, FeO и др.) с участием атомов и молекул атмосферных газов, например,  $O + NO + dust \rightarrow NO_2^* + dust$ . Механизм гетерогенных химических реакций, вероятно, вносил вклад в излучение метеорного следа все время его наблюдения.

Было высказано предположение, что желтоватый оттенок метеорного следа Тункинского болида в первую очередь определялся излучением полос молекулярного азота  $N_2$  в спектральном диапазоне 570–750 нм (1-я положительная система) и/или усилением континуума  $NO_2^*$  в гетерогенных химических реакциях. В спектре излучения метеорного следа должны присутствовать также относительно яркие атомарные линии и молекулярные полосы метеорного вещества и атмосферных газов.

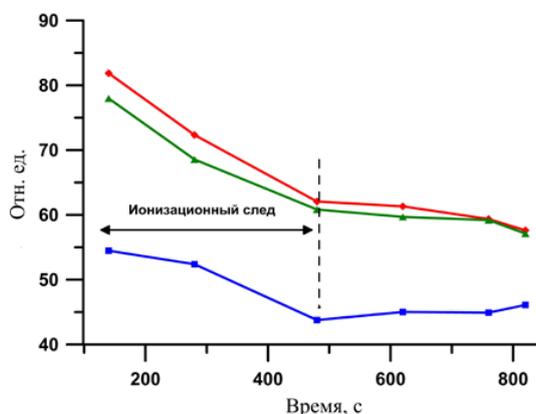


Рис. 2.2.4.7.1. Временная динамика свечения головной части метеорного следа в красном, синем и зеленом каналах

#### Публикация:

Михалев А.В. Цветовые и спектральные характеристики долгоживущего метеорного следа, образованного Тункинским болидом // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 62–67. DOI: 10.12737/szf-83202209.

#### 2.2.4.8. Оптические эффекты работы двигателей космических аппаратов на высотах нижней термосферы

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. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.В. Михалев, к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий, к.ф.-м.н. В.П. Лебедев, к.ф.-м.н. В.В. Хахинов.

Проведен краткий обзор оптических эффектов, наблюдавшихся во время работы бортовых двигателей космических аппаратов (КА) на высотах нижней термосферы в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. Представлены результаты наблюдений возмущений в свечении ночной атмосферы в период работы корректирующих двигателей КА на высотах F2-области ионосферы в космическом эксперименте «Радар–Прогресс». Анализ наблюдаемых оптических эффектов в этом эксперименте позволил скорректировать минимальные инжектируемые массы ( $\leq 10$  кг) продуктов сгорания ракетного топлива на высотах F2-ионосферы, при которых становятся доступны их обнаружение и регистрация при наземных оптических наблюдениях. В этом случае ожидаемое превышение интенсивности эмиссии [OI] 630.0 нм относительно фонового значения может достигать  $\sim 10\text{--}50$  Рл, характерные размеры светящихся областей — десятки и сотни километров, а времена жизни этих образований — десятки–сотни секунд в зависимости от массы вещества, инжектированного двигателями КА.

Представлены особенности и условия полета КС «Энергия» с КА «Скиф-ДМ» 16 мая 1987 г., при котором в дальней от места старта зоне отмечалось кратковременное усиление интенсивности эмиссии [OI] 557.7 нм. Качественно рассмотрена возможность усиления эмиссии [OI] 557.7 нм за счет химической модификации E-области ионосферы при полете КС «Энергия». С учетом регистрации оптических эффектов полета КА «Ямал-601» с полезной массой 20 т можно предположить, что географическое положение Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН позволяет достаточно надежно регистрировать в дальней зоне от места старта оптические эффекты стартов и пролетов тяжелых ракет-носителей КА с космодрома «Байконур».

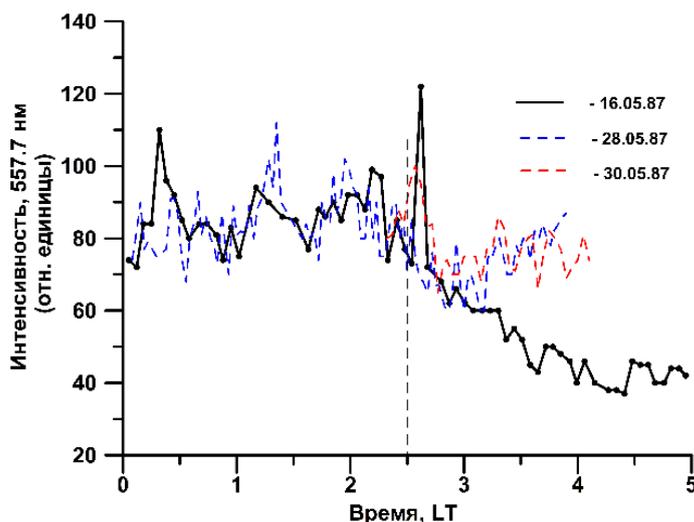


Рис. 2.2.4.8.1. Вариации интенсивности эмиссии [OI] 557.7 нм при полете КС «Энергия» 16 мая 1987 г. Вертикальной штриховой линией отмечен момент старта

#### Публикация:

Михалев А.В., Белецкий А.Б., Лебедев В.П., Хахинов В.В. Оптические эффекты работы двигателей космических аппаратов на высотах нижней термосферы // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 77–82. DOI: 10.12737/szf-84202207.

#### 2.2.4.9. Морфология перемещающихся волновых возмущений интенсивности свечения атомарного кислорода 630 нм, регистрируемых над Восточной Сибирью

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. Авторы результата — к.ф.-м.н. Т.Е. Сыренова, к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, к.ф.-м.н. М.В. Толстикова, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев.

Разработана и апробирована методика автоматического выделения волновых структур на кадрах широкоугольных камер, а также определения морфологических характеристик идентифицированных волновых возмущений. В результате обработки архива данных широкоугольной оптической системы КЕО Sentinel, расположенной в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН (52° с.ш., 103° в.д.), идентифицированы возмущения на высоте около 250 км (высота высвечивания атомарного кислорода) и получены их параметры. Проведено сравнение с параметрами возмущений, полученными с помощью радиофизического комплекса ИСЗФ СО РАН (рис. 2.2.4.9.1). Разработанная методика апробируется также на данных широкоугольных камер, входящих в объект «Оптические инструменты» Национального гелиогеофизического комплекса РАН, расположенный в Геофизической обсерватории ИСЗФ. Цифровые камеры всего неба имеют барабан с шестью сменными фильтрами, поэтому идентификацию периодических структур на изображениях, а также определение их параметров возможно произвести для различных высот, с тем чтобы оценить возможность распространения волновых процессов по вертикали.

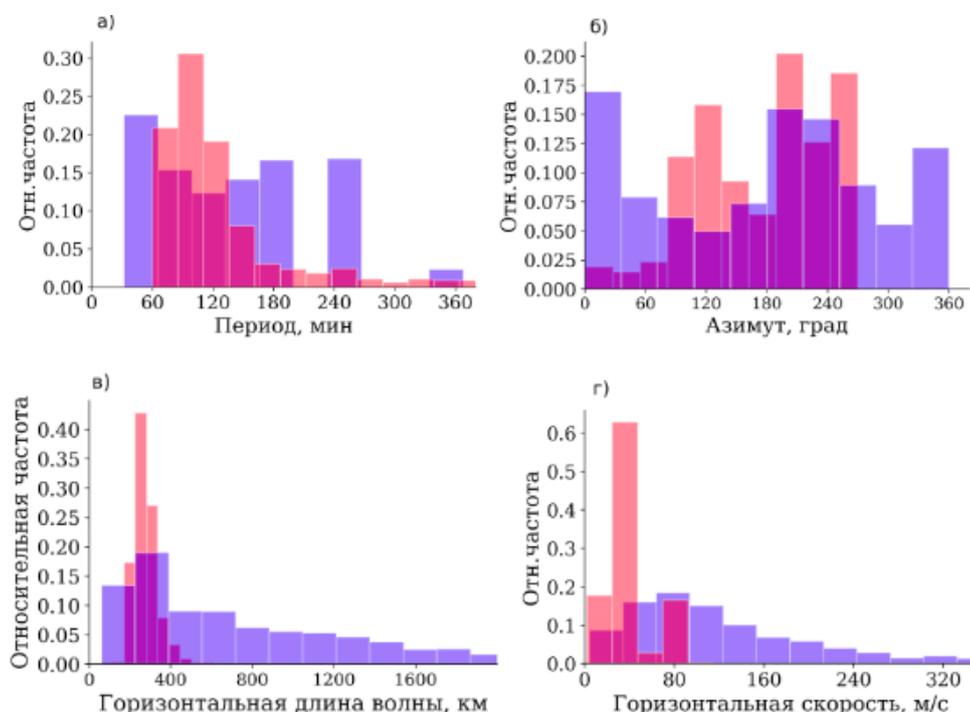


Рис. 2.2.4.9.1. Распределения параметров перемещающихся ионосферных возмущений, полученные на основе данных радиофизического комплекса (синие столбцы) и КЕО Sentinel (красные столбцы): а — период; б — азимут; в — горизонтальная длина волны; г — горизонтальная скорость

#### Публикация:

Syrenova T.E., Beletsky A.B., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Vasilyev R.V. Morphology of traveling wave disturbances recorded in Eastern Siberia in 630 nm atomic oxygen emission // Atmosphere 2022. Vol. 13, 198. DOI: [10.3390/atmos13020198](https://doi.org/10.3390/atmos13020198).

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

#### 2.2.5.1. Резонансная генерация альфвеновской волны облаком электронов, инжектированных во время суббури: исследование по данным зонда Van Allen

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

Представлено исследование редкого явления — резонансного взаимодействия УНЧ-волны с электронами. Двадцать седьмого октября 2012 г. в утренней части магнитосферы на расстоянии около  $6 R_E$  спутник Van Allen Probe A зарегистрировал УНЧ-волну длительностью 45 мин и амплитудой 0.7 нТл. Волна имела смешанную поляризацию, поскольку полоидальная (радиальная) и тороидальная (азимутальная) компоненты магнитного поля волны слабо различались по амплитуде. Частота волны составила 10 мГц, что позволяет классифицировать волну как колебания Pc4. Одновременно с волной зарегистрировано облако энергичных электронов, вероятно инжектированных в магнитосферу в результате развития суббури. В потоках электронов наблюдались колебания с частотой наблюдаемой волны. Показано, что эти колебания являются следствием дрейфового резонанса волны с электронами с энергией около 38 кэВ. Установлено, что волна генерировалась градиентной неустойчивостью и являлась фундаментальной гармоникой альфвеновской волны с азимутальным волновым числом  $m \sim 110\text{--}115$ , распространяющейся на восток.

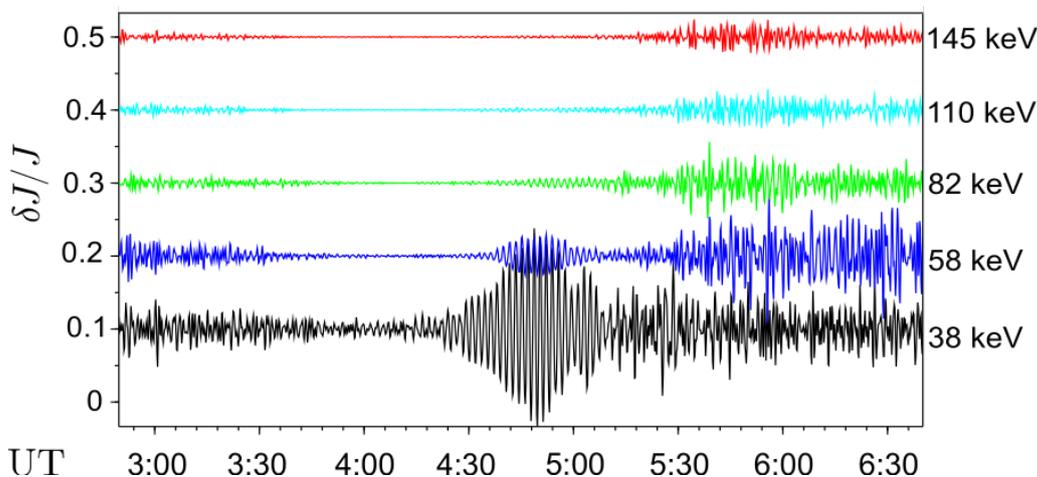


Рис. 2.2.5.1.1. Осцилляции в потоках электронов во время события 27 октября 2012 г.

#### Публикации:

1. Mikhailova O.S., Smotrova E.E., Mager P.N. Resonant generation of an Alfvén wave by a substorm-injected electron cloud: A Van Allen probe case study // *Geophysical Research Letters*. 2022. Vol. 49, e2022GL100433. DOI: 10.1029/2022GL100433.

2. Михайлова О.С., Смотрова Е.Е., Магер П.Н. Генерация УНЧ-волны электронами: исследование по наблюдениям зонда Van Allen Probe A // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 231–233.

#### 2.2.5.2. Современное состояние теории УНЧ-пульсаций диапазона Pc1 в плазме магнитосферы с тяжелыми ионами: обзор

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

В обзоре излагается современное состояние теории короткопериодных УНЧ-волн, учитывающей наличие примеси тяжелых ионов (ионов, масса которых превышает массу протонов) в плазме магнитосферы. Наличие тяжелых ионов влияет на спектр и характеристики распространения волн диапазона Pc1. Рассмотрены элементы теории квазипродольных и квазипоперечных короткопериодных УНЧ-волн. Квазипродольные ионно-циклотронные волны, как правило, имеют левую круговую поляризацию. Квазипоперечные ионно-ионные гибридные (ИИГ) волны имеют линейную поляризацию и могут быть полоидальными и тороидальными. Вдоль магнитного поля колебания заперты в резонато-

ре в окрестности геомагнитного экватора (рис. 2.2.5.2.1). Рассмотрена теория экваториального резонатора для волн Pc1, его размер определяется концентрацией тяжелых ионов. В радиальном направлении волны могут быть заперты в окрестности плазмопаузы или в области локального минимума плотности тяжелых ионов. Рассмотрены размеры экваториального резонатора при произвольных значениях компонент волнового вектора. Отмечено, что ионно-ионные гибридные волны, в отличие от альфвеновских волн, имеют большую продольную компоненту магнитного поля.

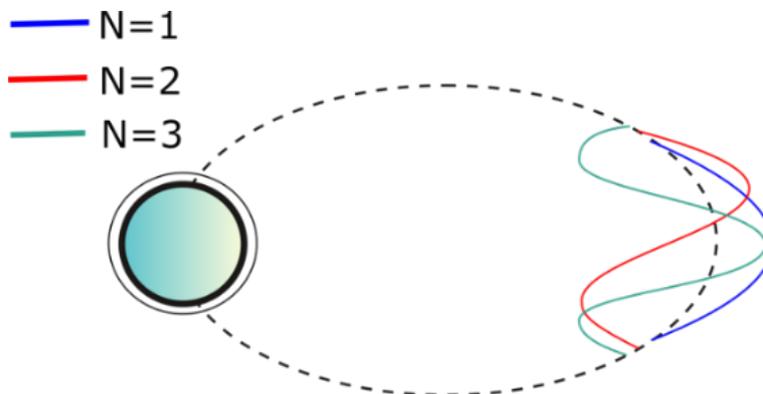


Рис. 2.2.5.2.1. Структура первых трех гармоник ИИГ-волны вдоль магнитного поля в экваториальном резонаторе

#### Публикация:

Михайлова О.С., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Современное состояние теории УНЧ-пульсаций диапазона Pc1 в плазме магнитосферы с тяжелыми ионами: обзор // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 1. С. 3–18. DOI: 10.12737/szf-81202201.

#### 2.2.5.3. Определение поперечной структуры монохроматических альфвеновских волн по фазовому сдвигу между компонентами их электромагнитного поля

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера. Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин<sup>1</sup>. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.С. Леонович<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. Д. А. Козлов<sup>1</sup>, А.А. Власов<sup>1</sup>, Q.-G. Zong<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Institute of Space Physics and Applied Technology, Peking University, Beijing, China

Предложен метод определения радиальной (поперек магнитных оболочек) структуры монохроматических стоячих альфвеновских волн по фазовому сдвигу между колебаниями поперечных компонент их электрического или магнитного поля. Показано, что этот сдвиг фаз однозначно связан с мелкомасштабной радиальной структурой альфвеновских колебаний. Альфвеновские волны в магнитосфере Земли могут наблюдаться на борту спутника, пересекающего область их локализации. В рамках двумерно-неоднородной модели магнитосферы с дипольным полем построены уравнения, описывающие пространственную структуру различных типов монохроматических альфвеновских колебаний: резонансных и кинетических альфвеновских волн. С помощью численных расчетов определена радиальная структура сверхнизкочастотных монохроматических альфвеновских колебаний, которая определяется их поперечной дисперсией, и построены «фазовые портреты» основных типов альфвеновских волн, которые могут наблюдаться в магнитосфере Земли. Используя эти «фазовые портреты», можно определить радиальную структуру альфвеновских колебаний, наблюдаемых на борту спутника, пересекающего область их локализации.

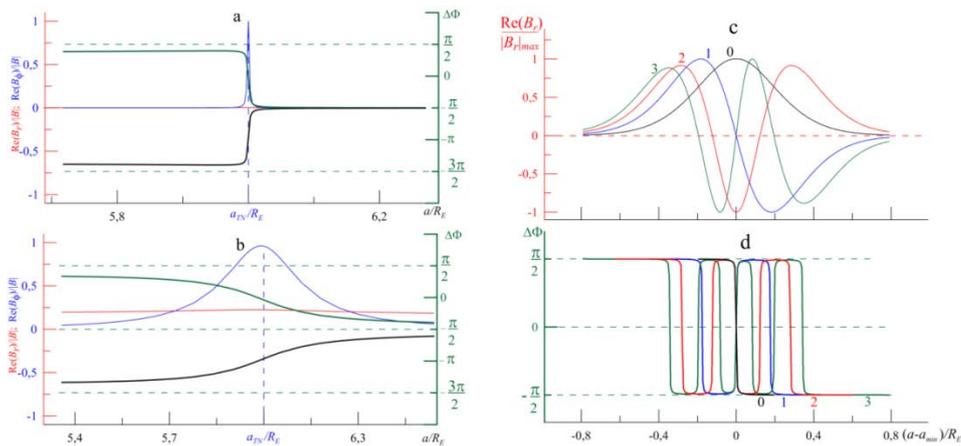


Рис. 2.2.5.3.1. Радиальная (поперек магнитных оболочек) структура радиальной (красная линия) и азимутальной (синяя линия) компонент магнитного поля первой гармоники ( $N = 1$ ) резонансных альфвеновских колебаний и разность их фаз для слабозатухающих (зеленая линия) и слабо-неустойчивых (черная линия) колебаний (a). Те же компоненты поля и разность фаз для умеренно затухающих и умеренно неустойчивых резонансных альфвеновских волн (b). Радиальная структура радиальной компоненты магнитного поля первых четырех гармоник резонатора для полоидальных стоячих альфвеновских волн (с продольным волновым числом  $N = 1$  и азимутальным волновым числом  $m = 50$ ) вблизи минимума распределения собственных полоидальных альфвеновских частот (c). Радиальное распределение разности фаз колебаний поперечных компонент магнитного поля этих же гармоник резонатора (d)

#### Публикации:

1. Leonovich A.S., Zong Q.-G., Kozlov D.A., Vlasov A.A. “Phase portraits” of Alfvén waves in magnetospheric plasma // J. Geophys. Res.: Space Phys. Vol. 127, e2022JA030432. DOI: 10.1029/2022JA030432.
2. Власов А.А., Леонович А.С., Козлов Д.А. Определение поперечной структуры монохроматических альфвеновских волн по фазовому сдвигу между компонентами их электромагнитного поля // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике. Конф. молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 155–157.

#### 2.2.5.4. Дискретный спектр УНЧ-колебаний ионосферы

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин<sup>1</sup>. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.С. Потапов<sup>1</sup> д.ф.-м.н. А.В. Гульельми<sup>2</sup>, к.ф.-м.н. Б.И. Клайн<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

<sup>3</sup>Геофизическая обсерватория Борок, филиал Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Целью исследования явилась экспериментальная проверка теоретического предсказания. В рамках идеализированной модели ионосферного альфвеновского резонатора (ИАР) сформулирована гипотеза о связи между частотами спектральных линий. Для проверки гипотезы использовались наблюдения УНЧ-колебаний в среднеширотной обсерватории Монды (Саянская солнечная обсерватория ИСЗФ СО РАН, п. Монды, Республика Бурятия). Результат анализа подтвердил гипотезу о том, что на поверхности Земли наблюдаются нечетные гармоники дискретного спектра резонатора. Кратко обсуждаются возможности использования излучения ИАР для дистанционного зондирования ионосферы.

#### Публикация:

Potapov A.S., Guglielmi A.V., Klain B.I. Discrete spectrum of ULF oscillations of the ionosphere // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2022. Vol. 60, 4600505. DOI: 10.1109/TGRS.2021.3092738.

### 2.2.5.5. Безотражательное распространение внутренних волн в канале переменного сечения при наличии течения

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера. Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин<sup>1</sup>. Авторы результата — д.ф.-м.н. С.М. Чурилов<sup>1</sup>, Prof. Yu. A. Stepanyants<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>University of Southern Queensland, Australia

В приближении мелкой воды рассмотрена линейная задача о распространении поверхностных волн на фоне неоднородного течения идеальной жидкости в канале с изменяющимися вдоль потока шириной  $W(x)$  и глубиной  $H(x)$ . Найдены три вида соотношений между скоростью течения  $U(x)$  и скоростью распространения волн  $c(x)$ , таких, что при выполнении любого из них волны произвольной формы распространяются без отражения как в направлении течения, так и против него. В соответствии с этим выделены три класса безотражательных течений и исследованы их свойства. В течениях класса А скорости течения и волн связаны простым соотношением  $c(x)U(x) = \Pi = \text{const}$ , обеспечивающим распространение волн без отражения на любые расстояния, т. е. вдоль всей оси  $X$ . В течениях классов В и С скорости связаны дифференциальным уравнением первого порядка (своим в каждом классе), решение которого имеет особые точки. Поэтому здесь в общем случае регулярные решения существуют лишь на ограниченных интервалах изменения  $x$  (луче или конечном интервале). Для каждого класса найдены условия, при которых есть регулярные решения на всей оси  $X$ . Кроме того, показано, что можно конструировать и «составные» безотражательные течения класса В.

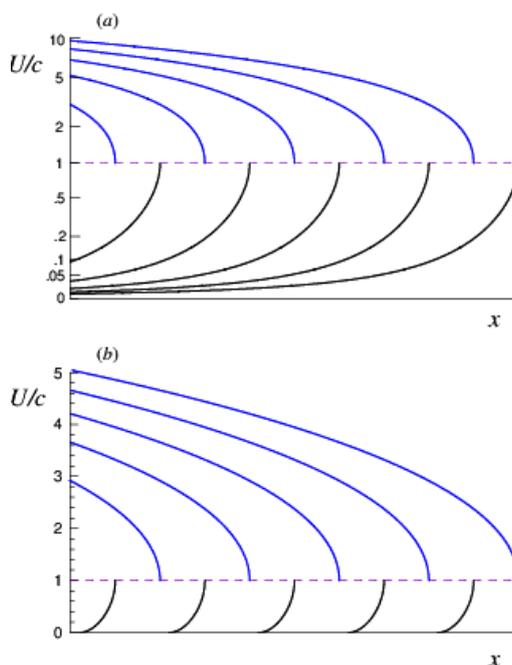


Рис. 2.2.5.5.1. Отношение скорости течения  $U$  к скорости распространения волн  $c$  в докритических ( $U < c$ ) и сверхкритических ( $U > c$ ) безотражательных течениях классов В (а) и С (б)

В линейном приближении исследовано распространение длинных внутренних волн произвольной формы в стационарном течении двухслойной жидкости в канале переменного сечения под твердой горизонтальной крышкой. Найдены и изучены два вида течений (аналоги течений классов В и С в задаче о поверхностных волнах), в которых волны также распространяются без отражения на ограниченных интервалах изменения. Безотражательные течения класса А возможны только в случае течения с постоянной скоростью в однородных каналах.

### **Публикации:**

Churilov S.M., Stepanyants Yu.A. Reflectionless wave propagation on shallow water with variable bathymetry and current // J. Fluid Mech. 2022. Vol. 931, A15. DOI: 10.1017/jfm.2021.935.

Churilov S.M., Stepanyants Yu.A. Reflectionless wave propagation on shallow water with variable bathymetry and current. Part 2 // J. Fluid Mech. 2022. Vol. 939, A15. DOI: 10.1017/jfm.2022.208.

Pelinovsky E., Talipova T., Didenkulova E., Kaptsov O., Stepanyants Yu., Churilov S., Didenkulova I. Travelling reflectionless waves in shallow water channels with variable cross-section and current // EGU General Assembly. 2022. DOI: 10.5194/egusphere-egu22-1541.

Чурилов С.М. Безотражательное распространение внутренних волн в канале переменного сечения при наличии течения // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58, № 3. С. 300–309. DOI: 10.31857/S000235152203004X.

### **2.2.5.6. Возмущения второго порядка в альфвеновских волнах в плазме с давлением**

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

Показано, во-первых, что в плазме с давлением, так же как и в холодной плазме, альфвеновские волны, создаваемые начальным возмущением, генерируют продольные течения плазмы и уменьшения напряженности магнитного поля, распространяющиеся вместе с этими волнами. Во-вторых, на начальной стадии своего взаимодействия альфвеновские волны генерируют медленные магнитозвуковые волны, распространяющиеся вдоль магнитного поля. Установлена связь характеристик продольных течений плазмы и медленных магнитозвуковых волн с характеристиками начального возмущения. Такие результаты позволяют предположить, что часть наблюдаемых в хвосте магнитосферы быстрых потоков плазмы может быть одним из проявлений распространяющихся альфвеновских волн как в областях магнитосферы с холодной плазмой, так и в областях магнитосферы с плазмой с давлением. Они дают также потенциальную возможность определения положения источника альфвеновского возмущения по результатам наблюдения альфвеновских волн и генерируемых ими ММЗ-волн.

### **Публикация:**

Дмитриенко И.С. Возмущения второго порядка в альфвеновских волнах в плазме с давлением // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, №. 2. С. 34–40. DOI: 10.12737/szf-82202205.

### **2.2.5.7. Затухание начальных возмущений в сдвиговых течениях невязкой жидкости**

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин<sup>1</sup>. Авторы результата — д.ф.-м.н. И.Г. Шухман<sup>1</sup>, д.ф.-м.н. Е.В. Поляченко<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Теоретически исследуется вопрос о затухании начальных возмущений в сдвиговых течениях невязкой жидкости. Показано, что в невязкой жидкости, как и в бесстолкновительной плазме, возможно экспоненциальное затухание Ландау. Однако, в отличие от плазмы, стадия экспоненциального затухания является лишь промежуточной стадией, в то время как финальной стадией затухания является степенное затухание, когда интегральная завихренность течения в направлении поперек канала  $N(t) = \int z(y,t)dy$  — величина, являющаяся аналогом электрического поля  $E(t)$  в плазме, — затухает в основном как  $\sim 1/t$ .

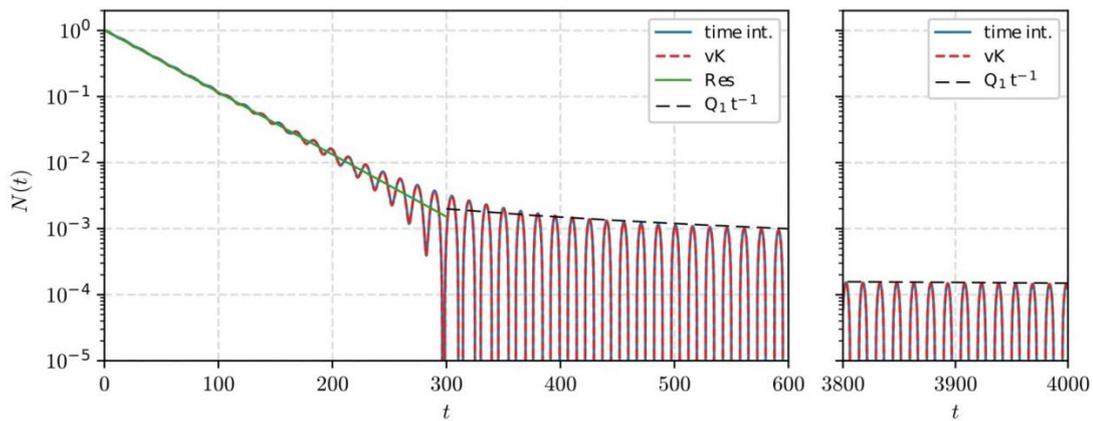


Рис. 2.2.5.7.1. Эволюция полной завихренности поперек канала  $N(t)$  начального возмущения завихренности  $\zeta(y)$  в виде гауссовской функции  $\zeta \sim \exp(-y^2/2\sigma^2)$  в канале со стенками при  $|y| = a = 1.997$  для  $k = 0.5$  (значение  $a$  взято для примера, поскольку при  $a < 1.1997$  течение устойчиво для всех  $k$ ). Зеленая линия при  $t < 300$  соответствует затуханию Ландау. Голубой линией показана эволюция, найденная прямым численным решением исходной линеаризованной системы уравнений, красная штриховая линия соответствует решению, найденному суммированием мод ван Кампена. Видно их полное совпадение. Видно также, что финальная стадия эволюции (правая панель) соответствует степенному затуханию  $N = Q_1/t$

На конкретном примере сдвигового течения с профилем скорости  $U(y) = \tanh(y)$  в канале со стенками при различных расстояниях  $2a$  между ними и для значений продольных волновых чисел  $k$  из диапазона устойчивых значений ( $k > k_{\text{crit}}(a)$ ) численно прослежена эволюция  $N(t)$  вплоть до очень больших значений времени  $t$ . Продемонстрировано численно, что затухание Ландау, характеризующееся декрементом  $\gamma$ , может быть представлено как непрерывная суперпозиция сигнурных собственных мод ван Кампена, представляющих полную систему собственных мод с вещественными частотами  $\omega$ . Несмотря на кажущуюся трудность, состоящую в том, что затухание в идеальной жидкости противоречит закону сохранения энергии, показано, что энергия возмущения переходит в энергию, связанную с перестройкой фонового течения, так что полная энергия сохраняется.

#### Публикация:

Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Damped perturbations in inviscid shear flows: van Kampen modes and Landau damping // Physics of Fluids. 2022. Vol. 34, 064108. DOI: 10.1063/5.0094089.

#### 2.2.5.8. Численный анализ пространственной структуры альфвеновских волн в плазме конечного давления в дипольной магнитосфере

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

Численно исследована пространственная структура альфвеновских волн в плазме конечного давления при смене ее поляризации. Основное внимание уделено структуре главной гармонике волны, стоячей между ионосферами сопряженных полушарий, поскольку для таких волн поляризационное расщепление спектра наиболее выражено. Проведено численное исследование влияния давления плазмы на поведение компонент электрического поля альфвеновских волн для трех моделей магнитосферы. Установлено, что при определенных параметрах модели магнитосферы магнитное поле может иметь три узла, в то время как в модели с холодной плазмой — только один. Продольная компонента магнитного поля дважды меняет знак вдоль силовой линии магнитного поля.

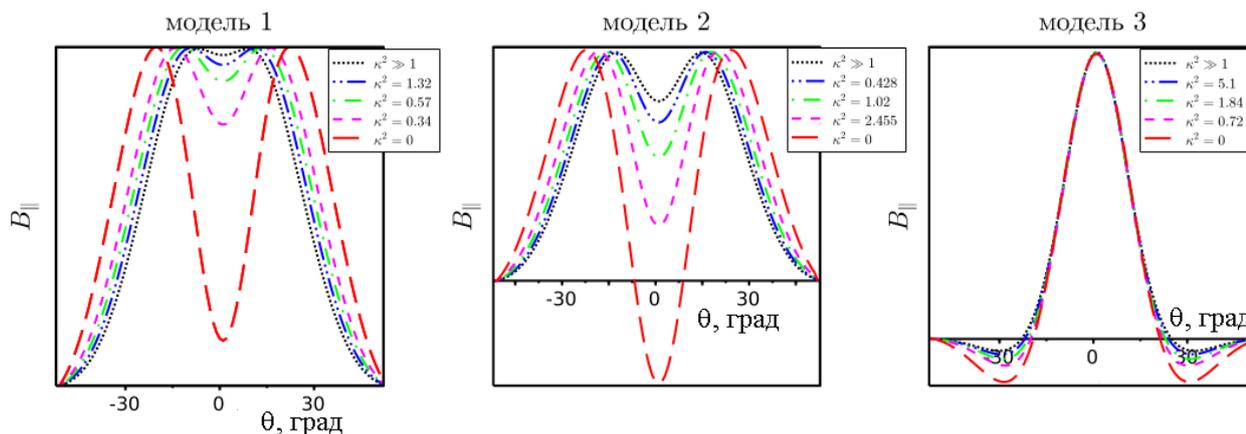


Рис. 2.2.5.8.1. Изменения структуры параллельной компоненты магнитного поля по  $\theta$  для моделей 1–3 при частоте волны  $\omega=0.033$  рад/с

### Публикации:

Петращук А.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Численный анализ пространственной структуры альфвеновских волн в плазме конечного давления в дипольной магнитосфере // Солнечно-земная физика. 2022.Т. 8, №. 3. С. 4–13. DOI: <https://doi.org/10.12737/szf-83202201>.

Петращук А.В., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Вариация пространственной структуры альфвеновских волн в горячей плазме // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 390–392.

### 2.2.5.9. Структура групп собственных частот в спектрах геомагнитных пульсаций ночной стороны магнитосферы

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

С помощью новой техники КФАФ (метод корреляционной функции флуктуаций амплитуды и фазы) обработаны записи флуктуаций компонент геомагнитного поля станций Монды и Борок для ряда часовых интервалов ночной стороны магнитосферы. Метод позволяет детектировать группы эквидистантных частот в спектре исходного сигнала и измерять разность двух соседних частот в каждой такой группе. Показано, что группы эквидистантных частот в составе широкополосных спектров этих флуктуаций определяются собственными частотами 2D-резонатора альфвеновских волн. Установлена экспериментальная зависимость некоторой комбинации параметров этого резонатора от местного времени. На рис. 2.2.5.9.1 мы можем видеть почти идеальное совпадение этих зависимостей для ст. Монды и ст. Борок, в то время как исходные для обработки методом КФАФ сигналы регистрировались на большом расстоянии друг от друга в условиях с разными уровнями приборных и антропогенных помех. Такое совпадение убедительно свидетельствует о том, что новая техника обработки позволяет получать непротиворечивую и достоверную информацию об эквидистантных частотных группах в спектрах любых широкополосных сигналов.

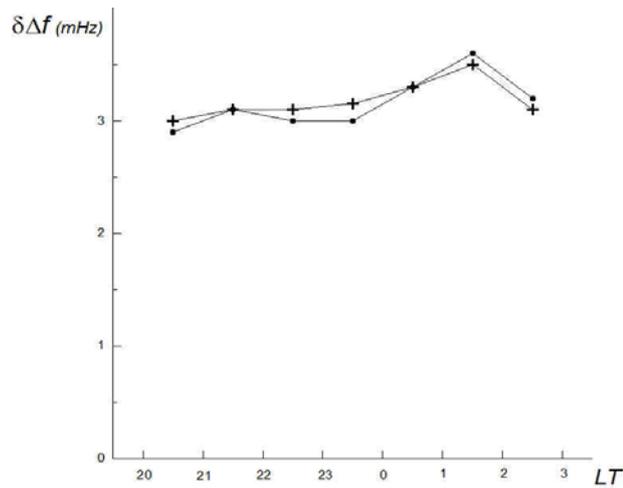


Рис. 2.2.5.9.1. Зависимость средней разности положений соседних пиков  $\delta\Delta f$  от местного времени: точки — для ст. Монды; крестики — для ст. Борок

#### Публикация:

Поляков А.Р. Структура групп собственных частот в спектрах геомагнитных пульсаций ночной стороны магнитосферы // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 49–53. DOI: 10.12737/szf-83202207.

#### 2.2.5.10. Взаимодействие ультранизкочастотных волн в магнитосфере с энергичными электронами: анализ данных спутниковой миссии **Magnetospheric Multiscale Mission**

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

Изучалось взаимодействие УНЧ-волн в магнитосфере с энергичными электронами. Резонанс волн с электронами наблюдается относительно редко. Рассматривался случай наблюдения волнового события, включающего два цуга колебаний. Были обработаны данные спутниковой миссии Magnetospheric Multiscale Mission (MMS), построены спектры колебаний, а также рассмотрены пространственные характеристики колебаний, зарегистрированных в послеполуночном секторе в области магнитных оболочек  $L \sim 10-12$ . Волна распространялась на восток, ее азимутальное волновое число было примерно равно  $+25$ . Первый цуг колебаний с амплитудой  $\sim 1.5$  нТл наблюдался примерно 20 мин, волна имела смешанную поляризацию и существенную продольную компоненту. Второй цуг имел меньшую амплитуду, в магнитном поле волны доминировала азимутальная компонента. Такая трансформация из волны со смешанной поляризацией в тороидальную волну может быть объяснена разбеганием по фазам собственных альфвеновских колебаний силовых линий. Одновременно с волной на спутниках было зарегистрировано облако энергичных электронов, инжектированных в магнитосферу во время суббури. Интенсивность потока частиц колебалась с частотой волны ( $\sim 3$  мГц). Наиболее сильной модуляцией характеризовался поток электронов с энергией 89 кэВ. Кроме того, разность фаз между модуляцией частиц и колебаниями магнитного поля волны была  $\sim \pi/2$ . Этими признаками характеризуется дрейфовый резонанс волна-частица, однако оценки показали, что такой резонанс в данном случае возможен с электронами более низкой энергии ( $\sim 40$  кэВ). Кроме того, было обнаружено, что в период наблюдения колебаний не выполнялось условие плазменной неустойчивости, которая могла бы привести к резонансу. Было предположено, что в данном случае механизм возникновения волны может быть описан теорией движущегося источника: волна сгенерирована нестационарным током в магнитосфере, сформированным инжектированными во время суббури электронами.

**Публикация:**

Челпанов М.А., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Наблюдение резонанса УНЧ-волны и электронов с помощью спутников MMS // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 333–334.

**2.2.5.11. Применение данных камеры всего неба для исследования явлений, протекающих в магнитосфере**

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — Е.Е. Смотров, к.ф.-м.н. О.С. Михайлова, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, к.ф.-м.н. Т.Е. Сыренова.

Представлена разработка программного комплекса с целью использования данных, полученных с помощью камеры всего неба на ст. Исток, для исследования явлений, протекающих в магнитосфере, совместно со спутниковыми данными. Программный комплекс включает несколько частей для обработки изображений и привязки их пикселей к геомагнитным координатам. Он позволяет также представить изображения полярных сияний в геомагнитных координатах для отслеживания временной динамики. Апробация программ на тестовом событии 2 декабря 2018 г. показала, что созданный программный комплекс позволяет проводить анализ явлений, протекающих в магнитосфере.

**Публикация:**

Смотров Е.Е., Михайлова О.С., Магер П.Н., Белецкий А.Б., Васильев Р.В., Сыренова Т.Е. Применение данных камеры всего неба для исследования явлений, протекающих в магнитосфере // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 289–291.

**2.2.5.12. Влияние плазмосферы на пространственное распределение УНЧ-волн в магнитосфере Земли**

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин<sup>1</sup>. Авторы результата — А.В. Рубцов<sup>1</sup>, PhD М. Нозе<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Нагойский университет, Япония

Изучено распределение частоты встречаемости ультранизкочастотных (УНЧ) волн с периодами от 45 до 600 с в магнитосфере Земли относительно положения плазмопаузы. Список волн получен в результате обработки данных спутника Arase за 46 мес. Положение плазмопаузы определялось тремя методами: по электронной концентрации, по профилю альфвеновской скорости и по эмпирическим моделям. Обнаружено, что УНЧ-волны чаще всего встречаются за пределами плазмосферы, причем полоидальные и тороидальные волны демонстрируют изменение своего распределения при сжатии/расширении плазмосферы во время геомагнитных возмущений. Отмечено, что компрессионные волны не показывают такой закономерности.

**Публикация:**

Рубцов А.В., Нозе М. Влияние плазмосферы на пространственное распределение УНЧ-волн в магнитосфере Земли // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 264–266.

### **2.2.5.13. Генерация дневных долгопериодных УНЧ-пульсаций градиентной неустойчивостью по многоточечным спутниковым наблюдениям**

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин. Авторы результата — А.В. Рубцов<sup>1</sup> (ИСЗФ СО РАН), к.ф.-м.н. О.С. Михайлова<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. П.Н. Магер, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин<sup>1</sup>, PhD Жень Ц.<sup>2</sup>, PhD Цзун Ц.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Пекинский университет, Китай

По одновременным измерениям семи космических аппаратов показано, что УНЧ-волны возбуждаются до суббурь и их параметры не изменяются после прибытия новых частиц. Изучена типичная УНЧ-волна на дневной стороне магнитосферы, являющаяся второй гармоникой полоидальной альфвеновской моды, находящаяся в баунс-дрейфовом резонансе с протонами с энергией 100 кэВ. Установлено, что к ее генерации привело образование большого положительного градиента функции распределения протонов на фазе восстановления магнитной бури, а не суббуревые инъекции. Полученные результаты позволили объяснить некоторые предыдущие наблюдения, по которым до настоящего момента не было сделано выводов относительно механизма генерации УНЧ-волн.

#### **Публикация:**

Рубцов А.В., Михайлова О.С., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю., Жень Ц., Цзун Ц.Г. Генерация дневных Pc4–5-пульсаций градиентной неустойчивостью по многоточечным спутниковым наблюдениям // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 267–269.

### **2.2.5.14. Изменение функции распределения потоков холодных частиц под действием параллельного электрического поля альфвеновской волны**

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

Рассмотрено изменение функции распределения холодных электронов под действием продольного электрического поля альфвеновской волны в искривленном магнитном поле с запертыми частицами. Из-за усреднения движения электронов по баунс-периоду изменение функции распределения описывается интегральным уравнением. Это уравнение решено в дипольной модели магнитосферы в рамках гирокинетического подхода для потоков электронов с энергиями много меньше 1000 эВ. Найдены изменения потоков холодных электронов в зависимости от питч-углов. Полученные результаты могут быть использованы для интерпретации распределений холодных электронов и верификации профилей продольного и поперечного электрических полей, генерируемых альфвеновскими волнами вдоль силовых линий геомагнитного поля.

#### **Публикация:**

Костарев Д.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Изменение функции распределения потоков холодных частиц под действием параллельного электрического поля альфвеновской волны // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 215–217.

### 2.2.5.15. Всплески геомагнитных пульсаций и излучения ночной атмосферы, вызванных изменениями давления солнечного ветра в ходе магнитосферной бури

Проект «Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера». Руководитель — к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин<sup>1</sup>. Авторы результата — д.ф.-м.н. А.С. Потапов<sup>1</sup>, д.ф.-м.н. В.В. Мишин<sup>1</sup>, д.ф.-м.н. А.В. Медведев<sup>1</sup>, д.ф.-м.н. А.В. Михалев<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. Ю.В. Пенских<sup>1</sup>, Р.А. Марчук<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. В. Tsegmed<sup>2</sup>, N. Baatar<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Institute of Astronomy and Geophysics MAS, Ulaanbaatar, Mongolia

Исследуется динамика геомагнитных возмущений и оптического излучения атмосферы в среднеширотных обсерваториях вблизи Иркутска во время сильной магнитосферной бури в ночном секторе 21.10.2001. В ходе бури наблюдались три полуторачасовых интервала увеличения на порядок динамического давления солнечного ветра (СВ), которые вызвали усиления суббуревой активности, всплески широкополосных геомагнитных пульсаций и излучения атмосферы в авроральных эмиссиях 557.7 и 630.0 нм. Во время этих всплесков южная граница зоны продольных токов (данные техники инверсии магнитограмм ИСЗФ) и овала полярных сияний (данные спутника IMAGE) приближалась к пунктам наблюдения, оставаясь севернее на 5°–7°. Возможные механизмы усиления пульсаций и оптических эмиссий связаны с эффектами воздействия изменений давления СВ на магнитосферу: суббуревыми активизациями, резкими изменениями продольных и ионосферных токов, высыпанием электронов. Регистрация быстроспадающих по широте высокочастотных пульсаций Pi1B южнее овала продольных токов и полярных сияний связывается со свойствами ионосферного альфвеновского резонатора и ионосферного МГД-волновода. Усиление активности импульсами давления СВ может ослаблять поворот ММП на север.

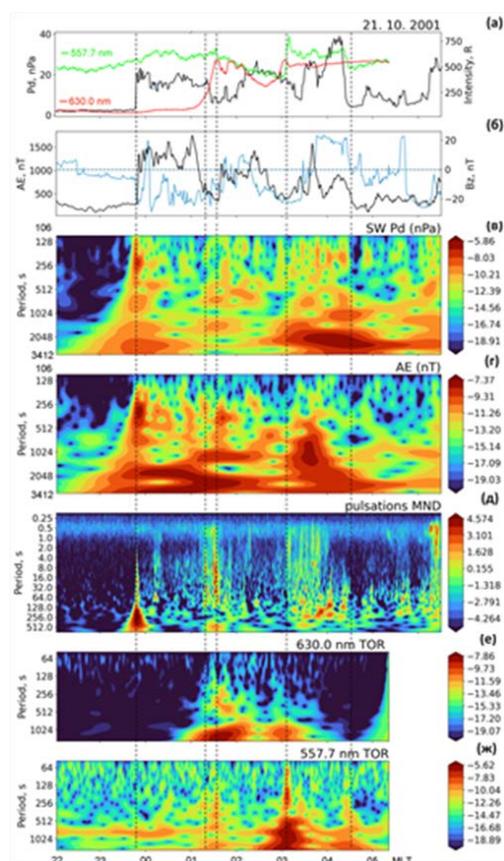


Рис. 2.2.5.15.1. Буря 21.10.2001. Вариации давления СВ  $P_d$  и интенсивностей эмиссий 557.7 нм, 630 нм (а), индекса геомагнитной активности  $AE$  и компоненты ММП  $B_z$  (б); динамические спектры давления СВ (в),  $AE$ -индекса (г), геомагнитных пульсаций (д) и излучения ночного неба в красной (е) и зеленой (ж) линиях. Цветная шкала справа — вариации амплитуды в относительных единицах в зависимости от периода (ордината) и местного магнитного времени (MLT, абсцисса)

**Публикации:**

Мишин В.В., Клибанова Ю.Ю., Медведев А.В., Михалев А.В., Пенских Ю.В., Марчук Р.А. Всплески геомагнитных пульсаций и излучения ночной атмосферы, вызванных изменениями давления солнечного ветра в ходе магнитосферной бури // Доклады РАН. Наука о Земле. 2022. Т. 504, № 2. С. 73–78. DOI: 10.31857/S2686739722060123.

Tsegmed B., Potapov A., Baatar N. Daytime geomagnetic pulsations accompanying sudden impulse of solar wind // Proc. the Mongolian Academy of Sciences. 2022. Vol. 62, no. 02, 242. DOI: 10.5564/pmas.v62i02.2380.

**2.2.5.16. Метод диагностики проводимости ионосферы с помощью наблюдений магнитосферных УНЧ-волн**

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

Представлена математическая модель, позволяющая оценивать проводимости северной и южной ионосферы по результатам наблюдения магнитосферных ультранизкочастотных волн (УНЧ-волн) космическими аппаратами. В модели рассмотрено три случая с разными условиями проводимости на границах ионосферы, для которых проводились вычисления компонент электрического и магнитного полей, а также компоненты вектора Пойнтинга вдоль силовой линии. На примере волны, наблюдавшейся космическим аппаратом Van Allen Probe A, проведена оценка проводимости границ ионосферы на основе полученной модели.

**Публикация:**

Смотровая Е.Е., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю., Михайлова О.С. Метод диагностики проводимости ионосферы с помощью наблюдений магнитосферных УНЧ-волн // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 292–294.

**2.2.5.17. Метод диагностики авроральных овалов в двух полушариях Земли на основе техники инверсии магнитограмм**

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

Разработан новый наземный метод автоматической диагностики границ аврорального овала по выходным данным техники инверсии магнитограмм (ТИМ). Указанные параметры ранее определялись визуально-ручным методом, т. е. оператор анализировал карты продольных и эквивалентных токов на экране и проводил заданные границы с помощью мыши, что занимало очень много времени (недели и месяцы). Сравнение границ, полученных старым ручным и новым автоматическим методами, показало, что коэффициент корреляции между двумя границами составляет в среднем 0.85, а среднеквадратичное отклонение не превышает  $2^\circ$  по широте.

**Публикация:**

Пенских Ю.В. Диагностика авроральных овалов в двух полушариях Земли на основе техники инверсии магнитограмм // Россия и Монголия: Результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции, 6–8 апреля 2022 г., Иркутск. 2022. С. 264–267.

### **2.2.5.18. Алгоритм поиска границ аврорального овала**

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

Разработан алгоритм поиска полярной и экваториальной границ аврорального овала и линии максимума значений. Алгоритм применим для выходных данных модели OVATION Prime как для суммарных высыпаний частиц, так и для отдельных их типов. Алгоритм может быть легко адаптирован к другому типу авроральной активности (полярные сияния, проводимость, поток энергии высыпавшихся частиц и др.).

#### **Публикация:**

Пенских Ю.В., Капустин В.Э. Алгоритм поиска границ аврорального овала по выходным данным модели OVATION Prime // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 387–389.

### **2.2.5.19. Отклик магнитосферы на вариации межпланетного магнитного поля во время магнитосферной бури**

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

Рассмотрена динамика геомагнитных возмущений и оптического излучения атмосферы во время сильных магнитосферных бурь. Во время бури 21.10.2001 наблюдались три 1.5-часовых интервала возрастания на порядок динамического давления солнечного ветра, которые вызвали синхронные с ними усиления суббуревой активности и светимости атмосферы в авроральных эмиссиях 557.7 и 630.0 нм, а также всплески широкополосных геомагнитных пульсаций. В работе обсуждаются возможные механизмы усиления широкополосных пульсаций, а также связи особенностей высокочастотной части спектра пульсаций и их пространственного распределения со свойствами ионосферного альфвеновского резонатора и ионосферного МГД-волновода.

#### **Публикация:**

Мишин В.В., Марчук Р.А., Клибанова Ю.Ю., Михалев А.В., Пенских Ю.В. Отклик магнитосферы на вариации межпланетного магнитного поля во время магнитосферной бури // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 234–236.

### **2.2.5.20. Сравнение ионосферных распределений продольных токов и полярных сияний по данным техники инверсии магнитограмм и IMAGE FUV для суббури 27 августа 2001 г.**

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

Представлено сравнение крупномасштабных пространственных распределений продольных токов (ПТ), полученных на основе техники инверсии магнитограмм по данным наземных магнитометров, с положением и яркостью аврорального овала по изображениям IMAGE FUV на ночной стороне для изолированной суббури 27 августа 2001 г. Количественный и качественный анализ показал, что полярная граница аврорального овала по

данным IMAGE FUV на протяжении всей суббури наиболее близко соотносится с границей обращения ионосферной конвекции (максимумами плотности ПТ зоны 1 Ииджимы — Потемры) в вечернем и утреннем секторах MLT. Дополнительно показано, что области вытекающих ПТ хорошо согласуются ( $\Delta\theta \sim 2^\circ$ ) с областями ярких полярных сияний на протяжении всей суббури.

#### **Публикация:**

Капустин В.Э., Лунюшкин С.Б., Мишин В.В., Пенских Ю.В. Сравнение ионосферных распределений продольных токов и полярных сияний по данным техники инверсии магнитограмм и IMAGE FUV для суббури 27 августа 2001 г. // Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 202–205.

### **2.2.6. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце—Земля**

#### **2.2.6.1. Исследование магнитных свойств тени солнечных пятен**

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

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

Выполнена систематизация результатов исследований магнитного поля в тени солнечных пятен за последние годы. Проведен сравнительный анализ магнитных свойств тени ведущих и замыкающих пятен в активных областях (АО) без взрывных процессов (ВП: вспышки и формирование корональных выбросов массы). Для анализа были отобраны пары магнитно-связанных ведущих и замыкающих пятен, т.е. соединенных силовыми линиями магнитного поля (две левые панели на рис. 2.2.6.1.1). Показано, что значения ряда параметров магнитного поля в тени солнечных пятен и характер связи между ними зависит от типа пятен. В тени ведущих и замыкающих пятен близкой площади различаются максимальное и среднее значения магнитной индукции (рис. 2.2.6.1.1 правые панели). Различаются также зависимости минимального угла наклона силовых линий к радиальному направлению из центра Солнца и среднего угла наклона линий поля от площади тени ведущих и замыкающих пятен. Для магнитно-связанных ведущих и замыкающих пятен показано, что расстояния от центра тени каждого типа пятен до главной линии раздела полярности фотосферного поля в АО различаются. Проанализирована динамика различных параметров магнитного поля тени пятен отдельно для одиночных, магнитно-связанных солнечных пятен и пятен магнитно-связанных АО, определенных как магнитные комплексы активности (МКА). Исследована эволюция магнитных характеристик солнечных пятен, в том числе солнечных пятен в МКА во время радикальной перестройки магнитной конфигурации АО или МКА. Обнаружено влияние ВП на характеристики магнитного поля в тени пятен.

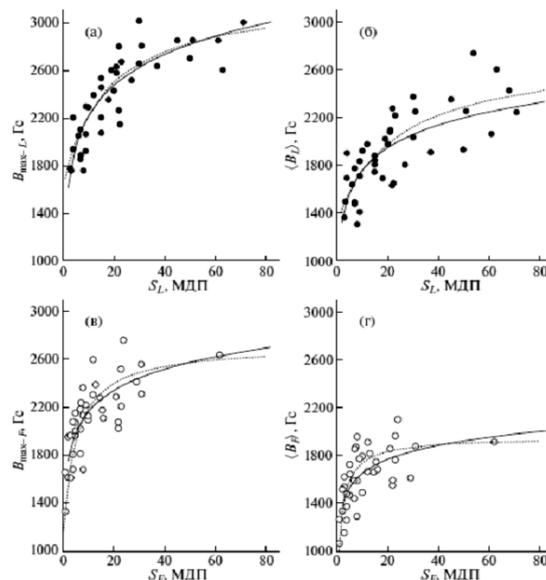
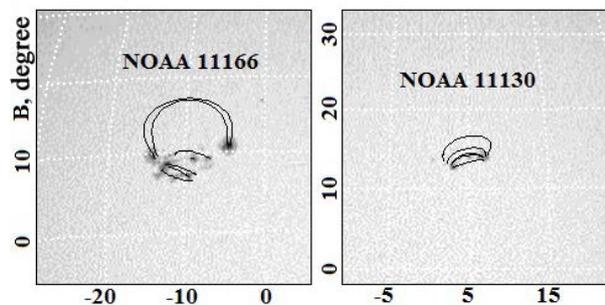


Рис. 2.2.6.1.1. Примеры магнитно-связанных пятен (слева) и графики зависимости от площади тени (справа) максимума магнитной индукции в тени ведущих  $B_{\max-L}(S_L)$  (а) и замыкающих  $B_{\max-F}(S_F)$  (в) пятен, а также среднего магнитного поля в тени ведущих  $\langle B_L \rangle(S_L)$  (б) и замыкающих  $\langle B_F \rangle(S_F)$  (г) пятен. Линии — различные способы аппроксимации рассеяния точек

### Публикация:

Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н., Руденко Г.В. Исследование магнитных свойств тени солнечных пятен // *Астрономический журнал*. 2022. Т. 99, № 2. С. 100–150. DOI: 10.31857/S0004629922030069.

### 2.2.6.2. Кинематические характеристики stealth-КВМ в трехмерном пространстве

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

Для периода 2008–2014 гг. исследованы и сопоставлены кинематические характеристики движения в трехмерном (3D) пространстве для трех групп корональных выбросов массы (КВМ): 1) «stealth»-КВМ (КВМ, возникшие на видимой стороне Солнца и не связанные с рентгеновскими вспышками и эрупцией волокон); 2) КВМ, возникшие на видимой стороне Солнца (для наблюдателя на Земле) и связанные с рентгеновскими вспышками и эрупцией волокон (FSCME with LCS); 3) все КВМ, зарегистрированные в указанный период. Кинематические и некоторые физические характеристики этих КВМ были сопоставлены с аналогичными характеристиками КВМ, которые D’Huys et al.<sup>2</sup> были отнесены к группе «stealth»-КВМ. На основании сравнения характеристик трех групп КВМ был сделан вывод, что в среднем «stealth»-КВМ имели наименьшие скорость, кинетическую энергию, массу и угловой размер, центральный позиционный угол, а также угол  $\varphi$  между направлением движения КВМ в плоскости эклиптики и линией Солнце–Земля и угол  $\lambda$  между направлением движения КВМ в 3D-пространстве и плоскостью эклиптики (рис. 2.2.6.2.1). Проанализированы также распределения КВМ разных типов в зависимости от их кинематических характеристик. В настоящее время ИЗМИРАН и ИСЗФ СО РАН проводят совместные исследования, направленные на получение ответа на вопрос: в какой степени выделенные stealth-КВМ являются геоэффективными.

<sup>2</sup>D’Huys et al. Observational characteristics of coronal mass ejections without low-coronal signatures // *Astrophys. J.* 2014. Vol. 795, 49. DOI: 10.1088/0004-637X/795/1/49.

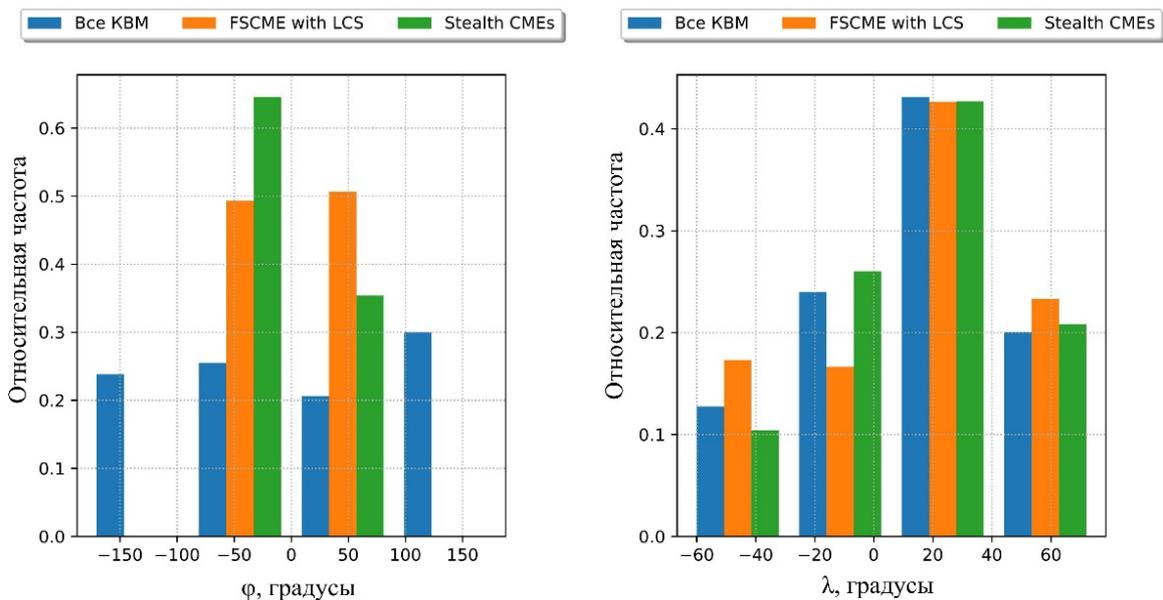


Рис. 2.2.6.2.1. Относительная частота появления KBM групп stealth-KBM, FSCME with LCS и «Все KBM» в зависимости от долготы (угол  $\varphi$ ) и широты (угол  $\lambda$ ) в трехмерном пространстве

### Публикация:

Егоров Я.И., Файнштейн В.Г. Кинематические характеристики stealth-KBM в трехмерном пространстве // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 14–23. DOI: 10.12737/szf-83202202.

### 2.2.6.3. Воздействие комплексного возмущения магнитосферы в феврале 2014 г. на глобальное электронное содержание

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце–Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — А. Calabria<sup>1</sup>, С. Anouuo<sup>3</sup>, М. Shah<sup>4</sup>, С. Amory-Mazaudier<sup>5</sup>, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич<sup>6</sup>, С. Owolabi<sup>7</sup>, S. Jin<sup>1</sup>

1 — Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, China; 2 — University of Alcalá, Madrid, Spain;

3 — University of Nigeria, Nsukka, Nigeria; 4 — Institute of Space Technology, Islamabad, Pakistan; 5 — Sorbonne Université, Paris, France; 6 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 7 — University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, USA

Изучено воздействие корональных выбросов массы (КВМ) в феврале 2014 г. на околоземное космическое пространство. Четыре геоэффективных КВМ вызвали магнитную бурю сложного многофазового характера. Первый КВМ достиг Земли 15 февраля и вызвал слабую магнитную бурю, 19 февраля высокоскоростные потоки солнечного ветра усилили геомагнитное возмущение — магнитная буря достигла уровня G2. События 20 и 23 февраля, произошедшие на фазе восстановления, значительно усложнили динамику процессов.

На фоне повышения глобального электронного содержания в феврале 2014 г. во время магнитных бурь происходило резкое падение числа электронов в ионосфере: более чем 15%-е падение произошло 19 февраля во время наиболее мощного геомагнитного возмущения (рис. 2.2.6.3.1). Амплитуда суточного изменения составила примерно половину от общего месячного роста, связанного с ростом солнечного излучения (со 140 до 180 с.е.п.). Такие эффекты не воспроизводятся моделью IRI.

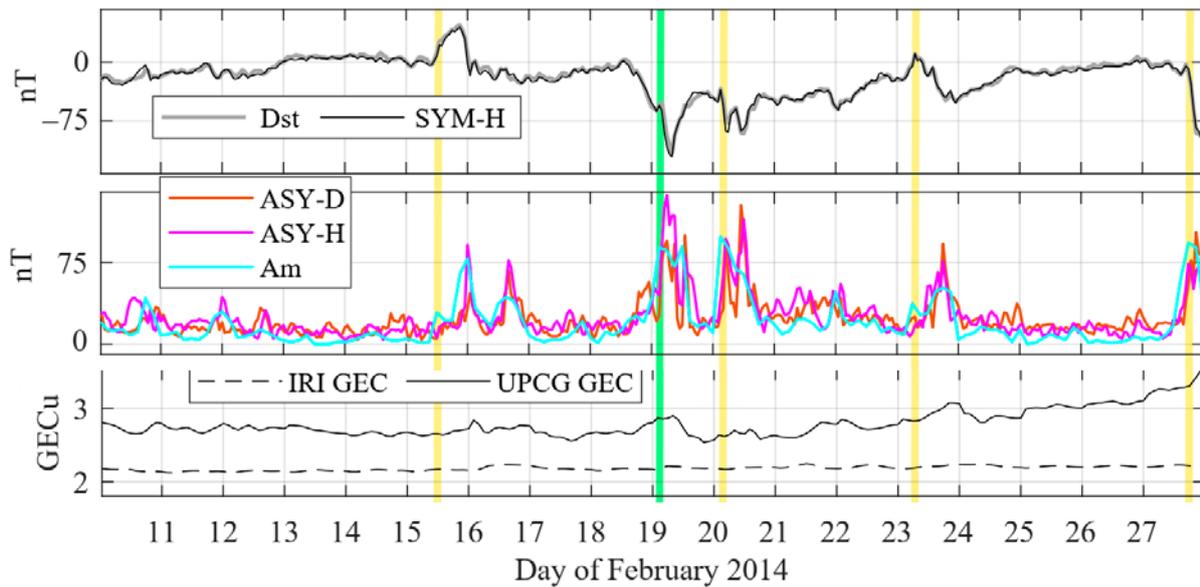


Рис. 2.2.6.3.1. Индексы состояния околоземного космического пространства *Dst* и *SYM-H* (верхняя панель); *ASY-D*, *ASY-H*,  $A_m$  (средняя панель) и глобальное электронное содержание по данным GIM UPGC (сплошная кривая) и модели IRI (штрихи) (нижняя панель)

#### Публикация:

Calabia A., Anoruo C., Shah M., Amory-Mazaudier C., Yasyukevich Y., Owolabi C., Jin S. Low-latitude ionospheric responses and coupling to the February 2014 multiphase geomagnetic storm from GNSS, magnetometers, and space weather data // *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, no. 4, 518. DOI: 10.3390/atmos13040518.

#### 2.2.6.4. Приложение теории графов для ионосферных исследований

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце–Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, к.ф.-м.н. И.В. Живетьев.

На основе экспериментальных данных глобальных ионосферных карт (GIM) CODG за период 1998–2015 гг. была построена ионосферная сеть (граф) (рис. 2.2.6.4.1, слева). В качестве узла сети выбран узел ионосферной карты. В качестве характеристики связи между узлами сети использован максимум кросскорреляционной функции среднесуточного полного электронного содержания с вычтенным годовым трендом (порог по наличию связи выбран на уровне  $A = 0.86$ ). Общее число пар узлов составляет порядка 13 миллионов. Каждый узел на рис. 2.2.6.4.1 характеризуется количеством связей с другими узлами.

Топология сети соответствует общей концепции динамики и пространственного распределения ионосферной плазмы. Можно отметить различие связей между полушариями и высокую связность и замкнутость региона экваториальной аномалии. Сеть позволила также выявить два региона в Северной Америке и Австралии, характеризующихся малым числом связей со внешними регионами и, соответственно, падением общего числа связей. Данные регионы близки по пространственному положению к регионам зимней аномалии (рис. 2.2.6.4.1, справа), но не совпадают с ними в деталях. Кроме того, в ионосферной сети не наблюдается выделенная область в азиатском секторе Северного полушария, где зимняя аномалия выражена достаточно хорошо. Таким образом, появление кластеров в ионосферной сети связано с наличием ионосферных аномалий. Данный подход может использоваться для выделения аномалий при различных явлениях.

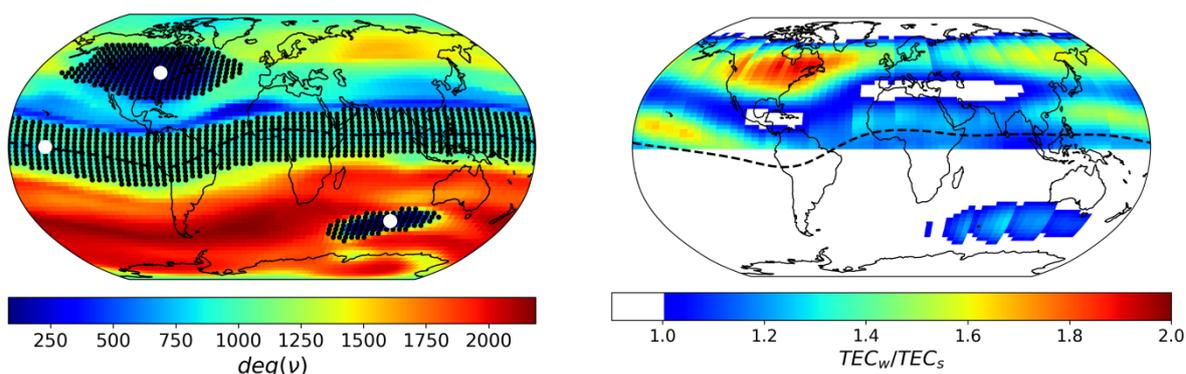


Рис. 2.2.6.4.1. Ионосферная сеть (слева) и зимняя аномалия (справа). Цвета на левой панели показывают количество связей в узлах сети, на правой — отношение зимнего полуденного ПЭС к летнему. На левой панели показаны узлы (белые круги) и связанные с ними области (черные круги) для регионов аномалий

### Публикация:

Zhivetiev I.V., Yasyukevich Y.V. Network theory to reveal ionospheric anomalies over North America and Australia // Atmosphere. 2022. Vol. 13, no. 8, 1333. DOI: 10.3390/atmos13081333.

### 2.2.6.5. Успехи и вызовы в наблюдениях глобальной динамики Солнца и солнечного динамо

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце–Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — А.Г. Косовичев<sup>1</sup>, Г. Гуэрре-ро<sup>1</sup>, А.М. Стешко<sup>1</sup>, д.ф.-м.н. В.В. Пипин<sup>2</sup>, д.ф.-м.н. А.В. Гетлинг<sup>3</sup>.

1 — University Heights, Newark, USA; 2 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 3 — НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Вычислительная гелиофизика пролила свет на фундаментальные физические процессы внутри Солнца, такие как дифференциальное вращение, меридиональная циркуляция и динамо-генерация магнитных полей. Несмотря на существенные достижения, с помощью трехмерного МГД-моделирования пока не удается воспроизвести многие результаты гелиосейсмологии и наземных наблюдений солнечной активности. Одна из возможных причин — многомасштабность солнечной динамики, т.е. широкий диапазон масштабов солнечных явлений и процессов, который не может быть разрешен с помощью современных вычислительных ресурсов. Значительный прогресс был достигнут с помощью подхода среднего поля, основанного на разделении мелкомасштабной турбулентности и крупномасштабной динамики. Моделирование среднего поля может качественно и количественно воспроизвести солнечные наблюдения и раскрыть новые явления. Ниже приводятся результаты моделирования вариаций зонального ускорения и меридиональной циркуляции в модели динамо (рис. 2.2.6.5.1). Модель предсказывает длительную моду активности в 11-летних вариациях меридиональной циркуляции. Сами вариации показывают сходящиеся течения вокруг широт активного пятнообразования. Последние результаты гелиосейсмологии (правые панели) также показывают существование длительной моды вариаций меридиональной циркуляции. Данное предсказание очень важно, поскольку вариации меридиональной циркуляции играют важную роль в механизме крутильных колебаний Солнца.

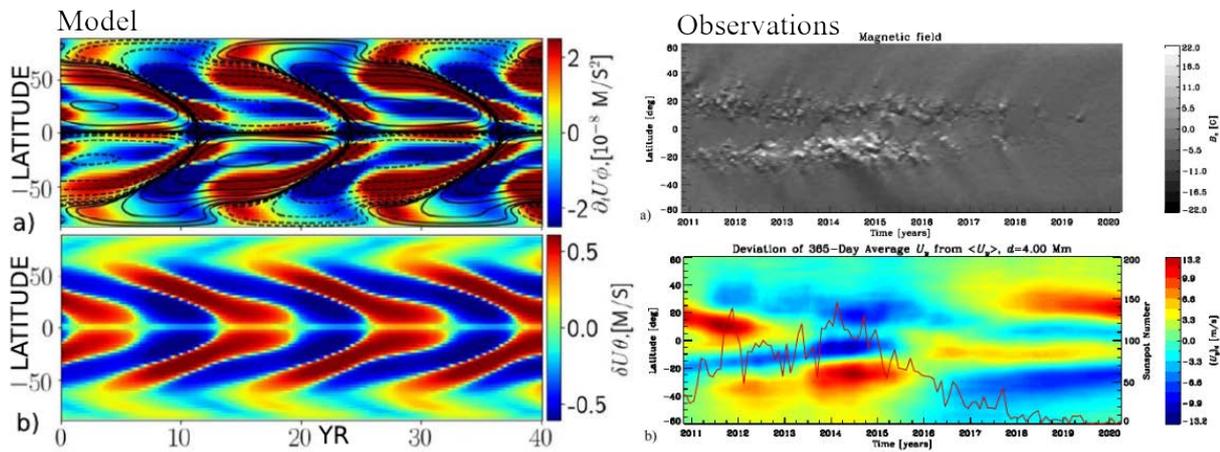


Рис. 2.2.6.5.1. Результаты моделирования (левые панели): *a* — широтно-временные вариации тороидального поля Солнца (контуры) и вариации зонального ускорения вращения на поверхности (цветовая шкала); *b* — вариации меридиональной циркуляции, положительные значения соответствуют полярному течению. Результаты наблюдений и гелиосейсмологии (правые панели): *a* — широтно-временная диаграмма эволюции продольного магнитного поля по данным SDO/HMI; *b* — вариации меридиональной циркуляции на глубине 4 Мм по результатам анализа данных SDO/HMI

**Публикация:**

Kosovichev A.G., Guerrero G., Stejko A.M., Pipin V.V., Getling A.V. Advances and challenges in observations and modeling of the global-Sun dynamics and dynamo // Proc. IAU Symposium. Vol. 362: “Predictive Power of Computational Astrophysics as a Discovery Tool”. 2022. 10.48550/arXiv.2203.10721.

**2.2.6.6. Воздействие космической погоды на функционирование глобальных навигационных спутниковых систем**

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — д.т.н. В.В. Демьянов<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич<sup>1</sup>, к.ф.-м.н. М.А. Сергеева<sup>3</sup>, А.М. Веснин<sup>1</sup>

1 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 2 — ИрГУПС, Иркутск, Россия; 3 — LANCE, SCiESMEX, Universidad Nacional, Mexico

Проведена систематизация результатов исследований негативного воздействия космической погоды на функционирование глобальных навигационных спутниковых систем ГНСС (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou). Работа включала обзор общих принципов функционирования ГНСС и понятий космической погоды, методологию анализа работоспособности ГНСС, систематизацию экспериментальных результатов воздействия космической погоды на ГНСС/SBAS, обзор систем ассимиляции данных для решения задач снижения негативных факторов космической погоды на работу ГНСС, выработку предложений по развитию ГНСС.

Для улучшения функционирования ГНСС в негативных условиях космической погоды (ухудшение позиционирования во время солнечных радиовспышек показано на рис. 2.2.6.6.1) требуется проведение технико-организационных мероприятий. Анализ показывает, что точность прогноза геомагнитных возмущений и точность позиционирования в этих условиях недостаточны на современном этапе развития технологий. Требуется совершенствование подходов к выдаче предупреждений пользователям ГНСС/SBAS, а также модернизация автономных методов контроля целостности. Комплексная система должна включать взаимодействующие подсистемы мониторинга и прогноза космической погоды и радионавигационного поля.

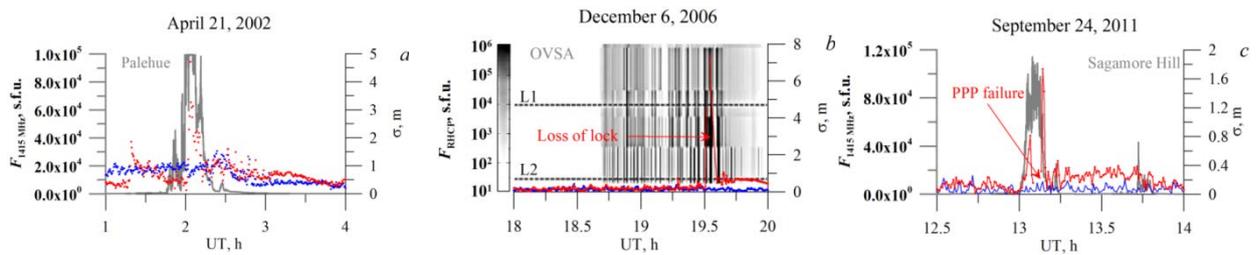


Рис. 2.2.6.6.1. Ошибка позиционирования в режиме PPP (precise point positioning) во время солнечных радиовспышек 21 апреля 2002 г. (a), 6 декабря 2006 г. (b) и 24 сентября 2011 г. (c)

**Публикация:**

Demyanov V., Yasyukevich Yu., Sergeeva M., Vesnin A. Space Weather Impact on GNSS Performance. 1<sup>st</sup> Ed. Springer International Publishing. 2022. 368 p. DOI: 10.1007/978-3-031-15874-2.

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

**2.3.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента**

**2.3.1.1. Развитие технологической базы изготовления монохроматических фильтров для исследования Солнца**

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

Базой для создания в ИСЗФ новых интерференционно-поляризационных фильтров (ИПФ) для наблюдений Солнца является разработанная методика отбора оптически однородных заготовок из кристаллов исландского шпата, их точная кристаллографическая ориентация и прецизионная оптическая обработка кристаллических элементов ИПФ.

Отбор заготовок проводится с учетом ориентации слоев в пирамидах роста кристаллов и с интерферометрическим контролем их однородности (рис. 2.3.1.1.1).

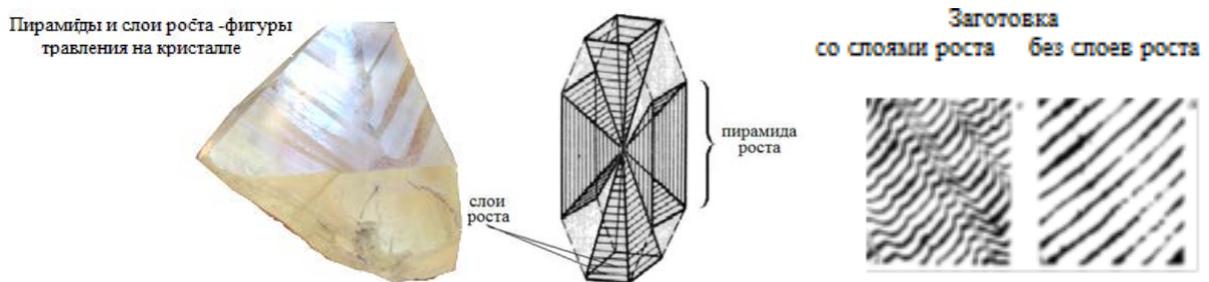


Рис. 2.3.1.1.1. Получение однородных заготовок из исландского шпата, ориентированных с учетом слоев роста

Для точной кристаллографической ориентации заготовок разработан коноскоп, позволяющий ориентировать заготовки относительно оптической оси кристаллов без привязки к другим кристаллографическим осям (как это необходимо при рентгеновской ориентации), чтобы получить из заготовок элементы ИПФ максимальных размеров.

Доводка по толщине кристаллических элементов ИПФ обычно состоит из двух последовательных процессов — оптической обработки подгоняемого элемента и контроля

его толщины относительно опорного элемента. Найдены режимы обработки и разработано устройство, которые позволяют во время обработки на станке вести контроль толщины подгоняемого элемента относительно опорного (рис. 2.3.1.1.2, 2.3.1.1.3). До сих пор контроль толщины проводился вне станка после длительного выравнивания температуры опорного и подгоняемого элемента.

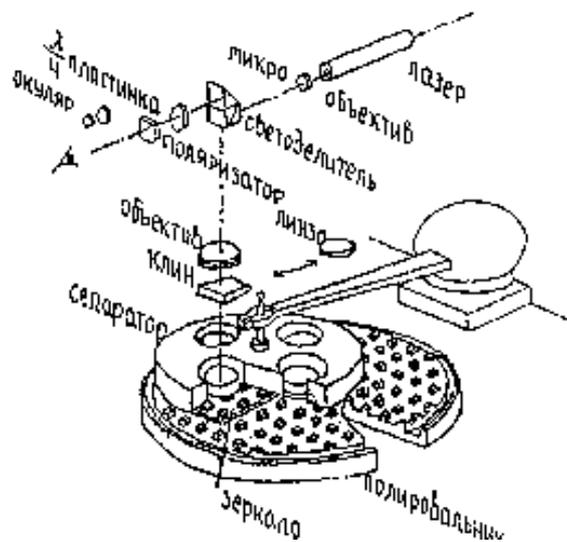


Рис. 2.3.1.1.2. Станок с контрольным устройством и схема контроля элементов ИПФ на станке

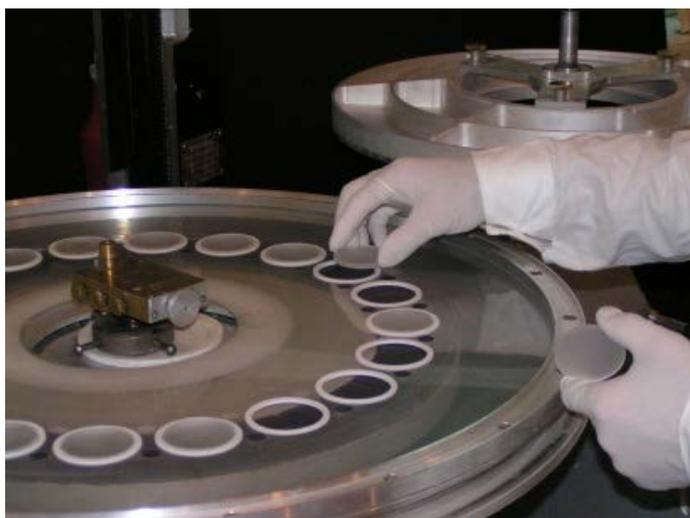


Рис. 2.3.1.1.3. Двухсторонняя оптическая обработка элементов

Предложен и испытан макет станка для двухсторонней оптической обработки, на котором можно с высокой точностью изготавливать элементы ИПФ и фазовые полуволновые и четвертьволновые пластинки для поляризационных измерений.

Разработанные методы обработки и контроля используются в настоящее время для изготовления элементов из исландского шпата, которые будут установлены в ИПФ фирмы В. Halle на линию К CaII 3933 Å с целью уменьшения полосы пропускания фильтра до 0.15 Å. Планируется также изготовление монохроматических фильтров для широкополосного фильтрографа, который будет установлен на Крупном солнечном телескопе-коронаграфе (КСТ-3).

**Публикация:**

Скоморовский В.И., Кушталь Г.И., Токарева Л.С. Исландский шпат и разработка интерференционно-поляризационных фильтров (ИПФ) // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 1. С. 70–86. DOI: 10.12737/szf-81202209.

### 2.3.1.2. Повышение качества получаемых на СРГ данных

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. С.В. Лесовой, М.В. Глоба, к.т.н. А.В. Губин, д.ф.-м.н. В.В. Гречнев.

Выполнены работы по исследованию аналого-цифровых узлов антенных решеток СРГ на предмет качества получаемых данных. Проведенный анализ показал, что суммарный отклик антенных элементов СРГ как в общей интенсивности, так и в поляризации линеен в достаточно широком диапазоне значений сигнала. Увеличение числа уровней квантования сигналов, подаваемых на комплексные корреляторы, приводит к улучшению отношения сигнал/шум, но в случае больших значений корреляции (во время мощных солнечных вспышек) все же требуется коррекция измеренных величин. Проведена обобщенная коррекция Ван Флека квантованных дисперсий сигналов одиночных антенн СРГ для числа уровней квантования  $m=7$ . Сделаны выводы о необходимости цифрового выравнивания антенных сигналов, подаваемых на корреляторы. Разработана методика измерения расстояния между антеннами СРГ с использованием наблюдений Солнца. Метод позволил достигать точности измерения расстояний до 1 мм.

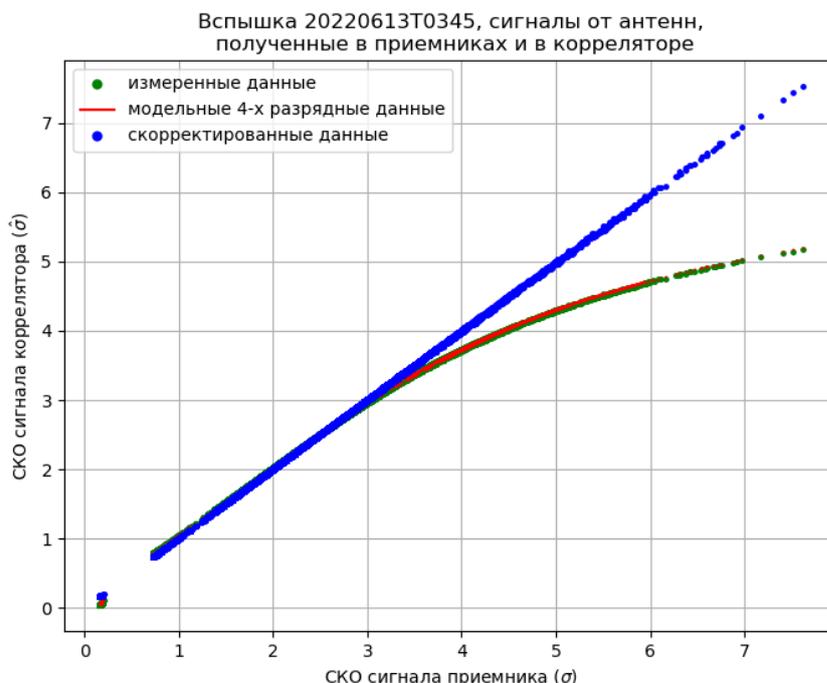


Рис. 2.3.1.2.1. По оси абсцисс — СКО сигнала одиночной антенны, вычисленное цифровым приемником Сибирского радиогелиографа ( $m=2047$ ): зеленые точки — СКО, вычисленное коррелятором ( $m=7$ ), красные точки — модельные ожидаемые значения СКО для  $m=7$ , синие — скорректированное СКО одиночной антенны. Множество точек включает в себя значения сигналов всех 128 антенн на 16 частотах для 220 последовательных моментов времени

#### Публикация:

Глоба М.В., Лесовой С.В., Губин А.В. Определение положения антенн Сибирского радиогелиографа по данным наблюдений Солнца // Всеросс. радиоастрономическая конф. «Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии» (ВРК-2022). 19–23 сентября 2022 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. СПб., 2022. С. 20.  
<https://iaaras.ru/meetings/vrk2022/abstracts/globa/>

### 2.3.1.3. Двухпиковые квазипериодические пульсации в круговой ленточной вспышке по данным микроволновых наблюдений

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. А.Т. Алтынцев, к.ф.-м.н. Н.С. Мешалкина, к.ф.-м.н. Р.А. Сыч, к.ф.-м.н. Д.Ю. Колотков.

Показано, что энерговыделение в импульсной фазе круговой ленточной вспышки класса C8.3 (SOL2002-08-06) вызвано пересоединением в компактной области близких токовых волокон. Скорость пересоединения пульсирует и проявляется как основной тон квазипериодических колебаний интенсивности различных диапазонов излучений с периодом около 8 с, который близок к времени транзита магнитозвуковых волн поперек взаимодействующих волокон. В микроволновом излучении отклик на основной тон колебаний проявляется в колебаниях жесткости и интенсивности потоков ускоренных электронов. Гармоника с периодом около 3 с, приводящая к двухпиковой структуре пульсаций, указывает на нелинейность процессов пересоединения, характерную для модели со слиянием токовых волокон. Особенностью вспышки является появление удаленного микроволнового источника, указывающего на трехмерную топологию магнитного пересоединения, в которой потоки ускоренных электронов распространяются от ядра вспышки по большой spine-петле.

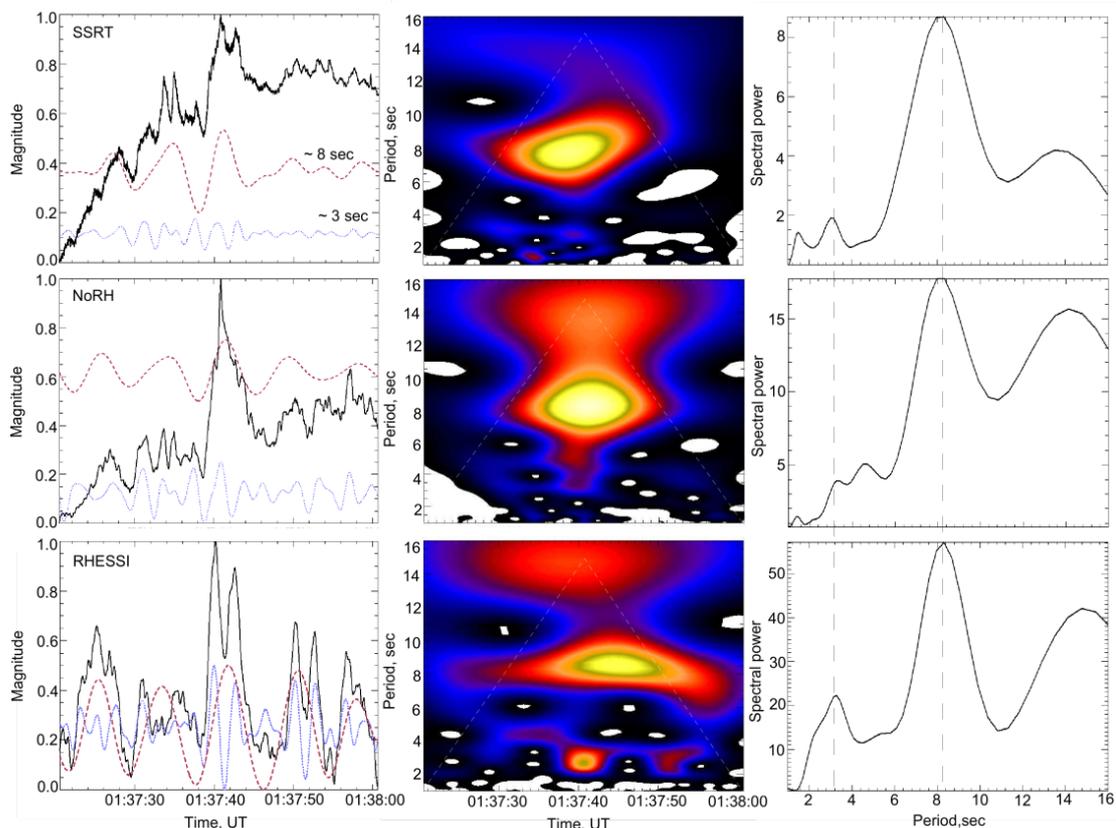


Рис. 2.3.1.3.1. Результаты спектрального анализа излучения на частотах 5.7 ГГц (SSRT), 17 ГГц (NoRH) и 25–50 кэВ (RHESSI): слева — нормированные временные профили сигналов (черный) и суммы гармоник в диапазонах периодов 2.4–3.7 с (синий) и 6.5–10 с (красный); в центре — спектры мощности вейвлета Морле; справа — периодограммы

#### Публикация:

Altyntsev A.T., Meshalkina N.S., Sych R.A., Kolotkov D.Y. Double peak quasi-periodic pulsations in a circular-ribbon flare // *Astron. and Astrophys.* 2022. Vol. 663, A149. DOI:10.1051/0004-6361/202243144.

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

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

Выполнен анализ длиннопериодных изменений интенсивности оптической турбулентности, определяющей качество астрономических изображений в месте расположения Крупного солнечного телескопа (КСТ-3). Показано, что в атмосферном слое на высотах от 10.4 до 11.9 км, который непосредственно реагирует на вариации температуры в нижележащих слоях, интенсивность оптической турбулентности возросла на 16 % за период с 1991 по 2020 г. В этот же период в вышележащем слое атмосферы (от 13.6 до 16.2 км) наблюдалось уменьшение интенсивности турбулентности, вызванной низкочастотными атмосферными возмущениями, на ~11 % (рис. 2.3.1.4.1). Полученные оценки изменений оптической турбулентности указывают на необходимость оптического сопряжения дополнительного деформируемого зеркала в системе адаптивной оптики КСТ-3 со слоем атмосферы на высоте порядка 12 км, интенсивность турбулентности в котором существенно увеличилась в последние десятилетия.

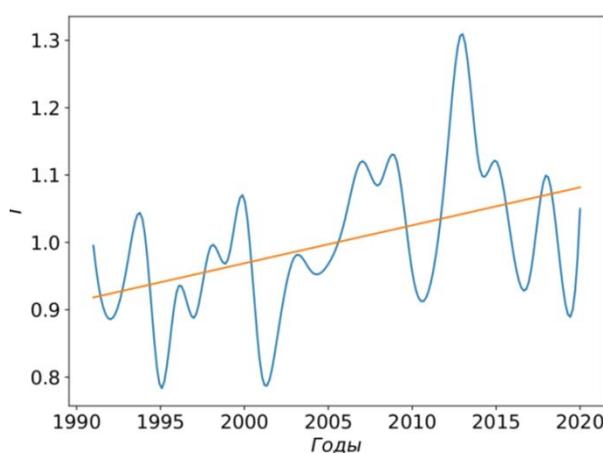


Рис. 2.3.1.4.1. Вариации безразмерной интенсивности оптической турбулентности в слое от 10.4 до 11.9 км над КСТ-3 с 1991 по 2020 г.

#### Публикации:

Khaikin V.B., Shikhovtsev A.Yu., Shmagin V.E., Lebedev M.K., Kopylov E.A., Lukin V.P., Kovadlo P.G. Eurasian Submillimeter Telescopes (ESMT) project. Possibility of submm image quality improvement using adaptive optics // J. Radioelectr. 2022. Vol. 7. P. 1–74. DOI: 10.30898/1684-1719.2022.7.9.

Shikhovtsev A.Y., Lukin V.P., Kovadlo P.G. Development of adaptive-optics systems for ground-based solar telescopes // Atmos. and Ocean. Optics. 2022. Vol. 35. P. 89–196. DOI: 10.1134/S1024856022030137.

#### 2.3.1.5. Создание широкоугольного зеркального объектива

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.т.н. С.А. Чупраков, к.ф.-м.н. Д.Ю. Колобов, д.ф.-м.н. В.И. Скоморовский, Г.Г. Голушко, А.Н. Зернин, С.С. Карнаухов, А.П. Курбака, к.ф.-м.н. А.К. Китов.

В результате расчетов влияния светозащитного тента на систему бленд доказана возможность значительного уменьшения ее габаритов. Бленда «передний экран» заменена защитной крышкой, управляемой по удаленному доступу. Разработан, изготовлен и отла-

жен механизм управления крышкой с удаленного компьютера по протоколу ТСР/ІР. Проведены тестовые наблюдения с длительными экспозициями в поле зрения  $2\omega=1.64$ , показавшие высокую эффективность светозащитной системы и отсутствие дифракционных искажений (лучей).

Разработан механизм сканирования поля зрения planoидным зеркалом, который может быть реализован добавлением системы притягивающих пружин и электромеханических актуаторов в существующую конструкцию оправы.

На рис. 2.3.1.5.1 показан объектив ЗР-300 с защитной крышкой на площадке переднего кольца.



Рис. 2.3.1.5.1. Зеркальный Райт со светозащитным тентом и крышкой

### 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), входящий в перечень уникальных установок Российской Федерации (рег. номер 01-29). Кроме того, в БАО функционируют три хромосферных телескопа, оборудованных интерференционно-поляризационными фильтрами (ИПФ) на диагностически важные линии  $\text{H}\alpha$  (656.3 нм) и  $\text{K CaII}$  (393.4 нм), а

также Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения (СТОП-1), входящий в уникальную российскую сеть из трех идентичных инструментов для мониторинга солнечного магнетизма (два других СТОПа расположены в Уссурийске и 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 экс-

периментальные данные для решения научных задач, поставленных в программе фундаментальных исследований СО РАН, проектах РНФ, а также грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук.

На протяжении 2022 г. проводились работы по модернизации аппаратуры БСВТ, разработке и совершенствованию методов наблюдений.

- В летний период проводились спектральные наблюдения на БСВТ. В частности, с целью изучения вспышечной активности одновременно регистрировались спектры активных областей Солнца в линиях водорода  $H\alpha$  и  $H\beta$  в двух поляризациях (Поляков В.И.).

- Выполнялась настройка элементов адаптивной оптики БСВТ и проводились калибровочные наблюдения с регистрацией инструментальных функций размытия точки PSFs (Киселев А.В., Русских И.В., Колобов Д.Ю., Чупраков С.А.).

- Выполнялась настройка датчика Шека—Гартмана макета системы адаптивной оптики БСВТ, а также проводились измерения искажений волновых фронтов по наблюдениям группы солнечных пятен или одиночного солнечного пятна. Исследования выполнялись с целью восстановления искажений волнового фронта по лучу зрения телескопа на разных удалениях от апертуры (Киселев А.В., Русских И.В., Колобов Д.Ю., Шиховцев А.Ю., Коваadlo П.Г.). На рис. 3.1.1 показаны изображения солнечного пятна в линии 535 нм, полученные в фокальной плоскости датчика Шека—Гартмана по наблюдениям на БСВТ 22 августа 2022 г.

- Проводились измерения астроклиматических характеристик, включая сезонный ход средней скорости ветра вблизи питающего зеркала-сидеростата БСВТ.

- Продолжались регулярные наблюдения хромосферы Солнца (полный диск) в линиях  $H\alpha$  656.3 нм и  $K\ CaII$  393.4 нм (А.А. Жданов, А.В. Овчаров, А.А. Головки). В спектральной линии  $H\alpha$  с мая по ноябрь общая продолжительность наблюдений составила 49 дней, получено около 6800 изображений полного диска Солнца. Продолжительность наблюдений полного диска на хромосферном телескопе в линии  $K\ CaII$  составила 32 дня.

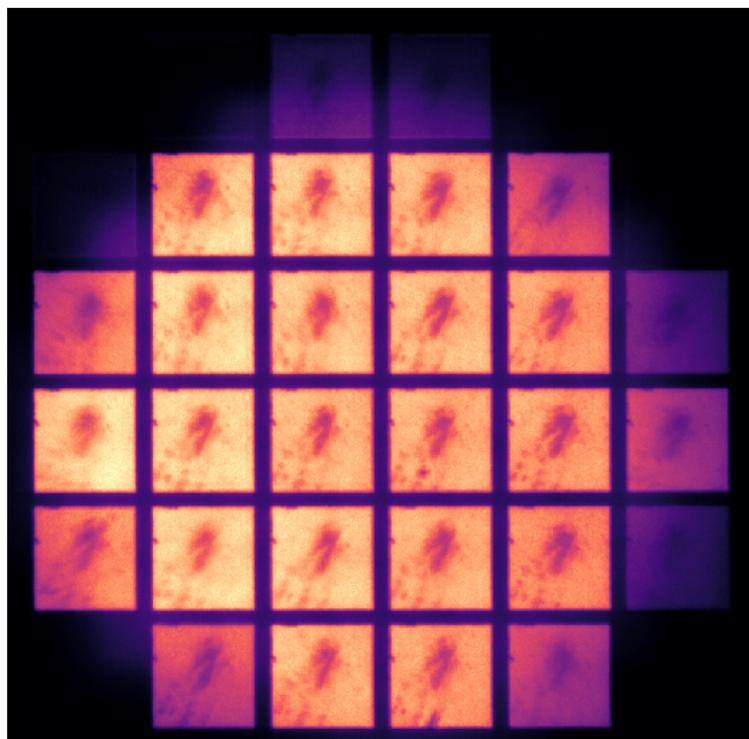


Рис. 3.1.1. Изображения солнечного пятна в линии 535 нм, полученные в фокальной плоскости датчика Шека—Гартмана по наблюдениям на БСВТ 22 августа 2022 г.

Для получения магнитограмм полного диска Солнца выполнялись наблюдения на Солнечном телескопе оперативных прогнозов нового поколения (СТОП-1). Продолжительность наблюдений составила 20 дней.

В обсерватории экспериментальные работы проводили также и другие институты Сибирского отделения РАН: Институт оптики атмосферы (г. Томск) и Лимнологический институт. Проводились многочисленные экскурсии для школьников, студентов и гостей обсерватории и ИСЗФ СО РАН.

### 3.2. Саянская солнечная обсерватория



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

Основные задачи обсерватории — солнечные исследования, исследования звезд и космического пространства, а также исследование и мониторинг околоземного космического пространства, включая наблюдение ИСЗ и космического мусора. Помимо этого, ведутся 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 выполнены наблюдения площадок космических гамма-всплесков (GRB) с целью обнаружения и измерения послесвечения в оптическом диапазоне. В рамках наземной поддержки программы научных наблюдений рентгеновской орбитальной обсерватории «Спектр-РГ» проводились работы по ее оптическому сопровождению. Были выполнены оптические наблюдения скоплений галактик, квазаров и других источников, обнаруженных в рентгеновском обзоре всего неба обсерватории «Спектр-РГ». С января по октябрь в течение 30 наблюдательных ночей были выполнены спектрометрические измерения, а в течение 11 ночей получены прямые изображения в широкополосных фильтрах различных источников.

На телескопе АЗТ-33ИК проводились регулярные фотометрические измерения 42 космических аппаратов на геостационарной и средневысотных орбитах. Были выполнены измерения 155 каталогизированных космических объектов (КО). Общее число серий измерений составило 1482, количество отдельных измерений — 572180.

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). С ноября 2021 г. по октябрь 2022 г. в течение 155 наблюдательных ночей было получено 6583 измерения положения КА.

На модернизированном телескопе АЗТ-14А проводились регулярные траекторные измерения высокоорбитальных КО. С ноября 2021 г. по октябрь 2022 г. в течение 262 наблюдательных ночей были получены измерения 1354 каталогизированных КО с целью уточнения их орбит. Общее число серий измерений по всем объектам – 2229, из них 59 серий были получены для некаталогизированных КО.

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 проводились регулярные наблюдения искусственных КО и космического мусора. По данной программе с октября 2021 г. по

сентябрь 2022 г. на телескопе АЗТ-33ИК проводились измерения в течение 236 наблюдательных ночей, а на телескопе АЗТ-33ВМ — в течение 241 наблюдательной ночи.

На телескопе АЗТ-33ВМ получена измерительная информация, включающая астрометрические измерения потенциально опасных сближений (214 пар сближающихся объектов), астрометрические измерения КО, имеющих предварительные орбиты, с целью уточнения орбит, а также наблюдения в области высокоапогейных орбит с целью обнаружения и каталогизации малоразмерных объектов космического мусора.

Общее число серий измерений по всем объектам составило 2685, количество измеренных объектов — 980. Были измерены 98 ранее не идентифицированных КО, 62 из которых были впоследствии каталогизированы. Количество отдельных измерений — 100335.

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 полученных магнитограмм — 105, количество измерений общего поля — 315. Общее количество наблюдательных дней — 122.

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

Данные наблюдений космических лучей и а 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 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, произведена замена неисправного оборудования. Данные наблюдений представлены на сайтах <http://cgm.iszf.irk.ru/>, <http://www.nmdb.eu>, <http://center.stelab.nagoya-u.ac.jp/WDCCR>. 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 спектрополяриметрии.

Объект наблюдения	Спектральные линии	Количество серий наблюдений				
		Апрель	Июнь	Июль	Август	Итого
Волокно	H $\beta$ 4861 + Fe 4859	4	14	–	9	<b>27</b>
Факел	Ha 6563 + He 10830	–	–	3	–	<b>3</b>
Пятно	Ha 6563 + He 10830	–	–	2	–	<b>2</b>
Корональная дыра	Ha 6563 + He 10830	–	–	3	–	<b>3</b>

За год сделано 35 временных серий. Средняя длительность серии — 1 ч 20 мин.

На базе ССО проводились выездные практики студентов ИСЗФ СО РАН и ИГУ. Студенты базовой кафедры ИСЗФ СО РАН и ИГУ «Метеорологии и околоземного космического пространства» прошли актинометрическую практику.

В ССО работали сотрудники Института космических исследований РАН. Регулярно проводятся экскурсии для школьников, студентов и гостей обсерватории.

### 3.3. Радиоастрофизическая обсерватория



Рис.3.3.1. Общий вид антенной системы РАО

Радиоастрофизическая обсерватория (РАО) «Бадары» ИСЗФ СО РАН расположена в урочище Бадары Тункинского района Республики Бурятия (рис. 3.3.1). Основными инструментами обсерватории являются уникальный Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ) и комплекс спектрополяриметров с общим диапазоном от 0.05 до 24 ГГц. Общий вид антенной системы РАО показан на рис. 3.3.1. ССРТ состоит из трех радиогелиографов диапазонов 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. 3.3.2).

Время накопления, количество частотных каналов, а соответственно и чувствительность — переменные параметры, определяемые научной задачей. Основные параметры ССРТ 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	LCP, RCP

20220610, 04:23 UT

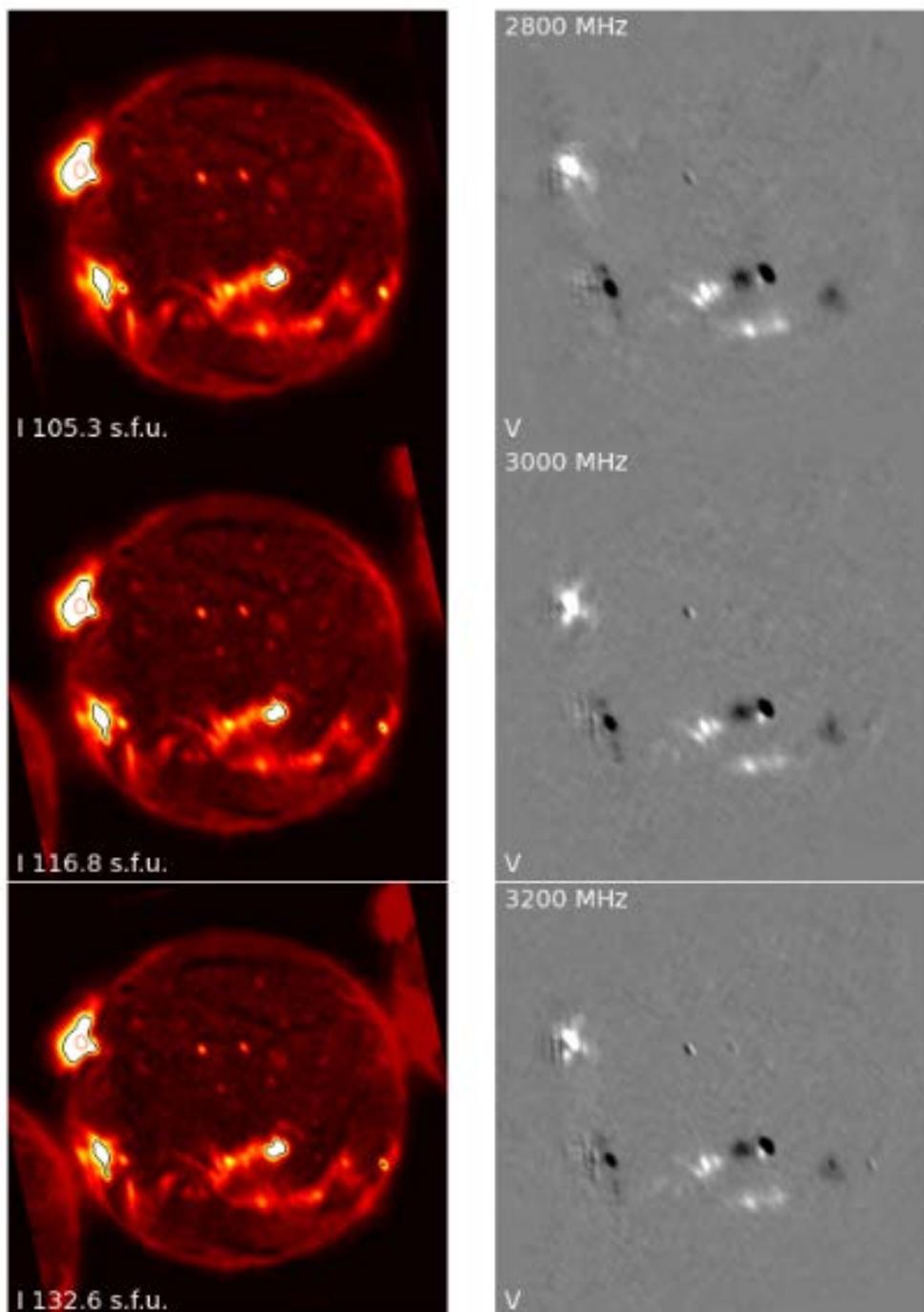


Рис. 3.3.2. Пример радиоизображений Солнца, полученных на Радиогелиографе 3–6 ГГц в интенсивности (левый ряд) и поляризации (правый ряд)

В 2022 г. в РАО продолжалась настройка и доведение до проектных характеристик систем Радиогелиографа. Разрабатывается методика доступа пользователей всего мира к научным данным. Ведутся работы по вводу в регулярные наблюдения комплекса спектрополяриметров.

Закончены работы по монтажу и запуску системы электропитания научного комплекса. Подключена новая подстанция и дизель-генераторная установка. В финальной стадии находится строительная часть проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс», возведены четыре здания и технический корпус, ведутся отделочные работы, (рис.3.3.3, 3.3.4).



*Рис. 3.3.3.* Здания для размещения научных гостей и сотрудников РАО



*Рис. 3.3.4.* Технологический корпус для ремонта и обслуживания оборудования РАО

Общий штат сотрудников обсерватории составляет порядка 40 человек, из них научно-технического персонала — 19 сотрудников.

### **3.4. Геофизическая обсерватория**

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



*Рис. 3.4.1.* Геофизическая обсерватория. Общий вид

Экспериментальная база обсерватории включает в себя следующее оборудование.

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

- Патрульный спектрометр САТИ-1М с низким спектральным разрешением, предназначенный для регистрации спектрального состава и пространственного распределения собственного излучения верхней атмосферы Земли. Основное назначение — исследование возмущений в основных эмиссионных линиях и полосах (OI 557.7 нм, OI 630.0 нм, NaI 589.0-589.6 нм и др.) при гелиогеофизических возмущениях различной природы. Позволяет получать двумерное изображение дуги небесной сферы в диапазоне длин волн 400–700 нм.

- Спектрометр ИКС-1, предназначенный для измерения вращательной температуры нейтральной атмосферы на высотах 80–100 км и интенсивности излучения ночного неба в спектральном диапазоне 820–870 нм.

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

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

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

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

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

- Инфразвуковая станция, предназначенная для выделения акустических сигналов инфразвукового диапазона в атмосфере Земли (рис. 3.4.2);

- 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.



Рис. 3.4.2. Пункт малой инфразвуковой станции

### *Данные наблюдений ГФО*

В 2022 г. проводился патрульный мониторинг интенсивности естественного ночного свечения верхней атмосферы. По полученным данным составлены ряды интенсивности линий свечения атомарного и молекулярного кислорода, гидроксила, вращательной температуры гидроксила, скорости и направления ветра на высотных уровнях 89, 97 и 250 км.

Проведены наблюдения на приборах первого пускового объекта «Оптические инструменты» Национального гелиогеофизического комплекса (НГК) РАН. Экспериментальная база приборов, поставленная в рамках НГК:

- сканирующий интерферометр Фабри — Перо (2 ед.);
- камера всего неба (2 ед.)<sup>4</sup>
- фотометр (2 ед.);
- спектрограф видимого диапазона;
- спектрограф инфракрасного диапазона.

В 2022 г. проводился мониторинг инфразвуковых сигналов на Инфразвуковой станции. Регистрация инфразвуковых сигналов осуществляется с помощью 3-позиционной станции, оснащенной микробарографами. На территории обсерватории собран и подключен к микробарометру тестовый образец пространственного инфра-акустического фильтра (ПИАФ) розеточного типа.

Проводились непрерывные наблюдения на многофункциональном цифровом ионозонде вертикального и наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом «Ионозонд-МС». Были получены данные с наклонных трасс Норильск — Торы, Магадан — Торы, Кипр — Торы, а также данные вертикального и слабонаклонного зондирования на трассе Усолье — Торы. Проведена обработка полученных данных, пополнен архив данных.

Данные наблюдений приборов, установленных в обсерватории, передаются посредством через интернет на серверы 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 2022 г. в обсерватории проводилось научно-образовательное мероприятие для молодых ученых (г. Иркутск, г. Якутск), экскурсии студентов ИГУ (г. Иркутск) и молодых ученых в рамках проведения БШФФ-2022.

### **3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы**

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

#### *Основные задачи обсерватории*

- регулярные наблюдения вариаций параметров ионосферы для разных времени суток, сезонов, уровней солнечной и геомагнитной активностей;
- 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, представлен 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-ионозонда, входящий в ЦКП «Ангара», <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.



Рис. 3.5.1. Общий вид ИРНР

В 2022 г. на научном оборудовании в ОРДА проводился ряд экспериментов, предназначенных для отработки новых методик, модернизации аппаратуры и программного обеспечения:

- Измерения параметров ионосферной плазмы.
- Накопление статистики по обнаруженным космическим объектам (КО).
- Измерение параметров модернизированных выносных приемных устройств (ВУП).
- Накопление статистики при работе системы синхронизации ИРНР–РЛК.
- С 29 августа по 4 сентября проведен научно-исследовательский интенсив на оборудовании ИРНР для группы научных сотрудников в рамках Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике (БШФФ-2022). Получены данные по динамике электронной концентрации, электронной и ионных температур, скорости нейтрального ветра, параметрам перемещающихся ионосферных неоднородностей.
- Проведены работы по гранту РФФИ 20-05-00580 А «Разработка модели возмущений ионосферы при воздействии на нее жидкостных реактивных двигателей на основе экспериментальных данных, полученных в активных космических экспериментах «Плазма-Прогресс» и «Радар-Прогресс». В рамках проекта проведены наблюдения космических аппаратов, оснащенных слабыми двигательными установками систем, таких как Starlink, OneWeb и CubeSat.

### *Иркутский радар некогерентного рассеяния*

В 2022 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры и программного обеспечения (ПО) ИРНР:

- испытан дополнительный комплект блока ВУП;
- установлен новый GPS-приемник;
- установлена система дистанционного управления основными блоками ИРНР;
- доработано ПО обработки ионосферной информации в режиме реального времени;
- доработано ПО обработки спутниковой информации в режиме реального времени;
- модернизирована система отображения текущей информации и контроля ИРНР.

Общее время наблюдений в активном режиме составило ~55 сут, в остальное время наблюдения велись в пассивном режиме.

### *Передающий пункт многопозиционного ЛЧМ-ионозонда*

В 2022 г. на передающем пункте ЛЧМ-ионозонда выполнены работы по профилактике передающих устройств.

Общее время работы передающего пункта на трассе ОРДА — ГФО составило ~360 сут. Доступ к информации для внешнего пользования осуществляется по запросам на сайтах ИСЗФ СО РАН <http://rp.iszf.irk.ru:8080/iisr/>; <http://iszf.irk.ru>.

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

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

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



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

Магнитно-метеорологическая обсерватория в Иркутске была одной из первых, открытых в конце XIX в. в Российской империи по принятому в 1884 г. решению Государственного Совета. Ежечасные измерения магнитного поля Земли (МПЗ) были начаты 1 января 1887 г. В 1905 г. в обсерватории были установлены фоторегистраторы для непрерывной записи вариаций трех компонент магнитного поля. Основные методы измерений и обработки данных сохранялись неизменными до конца XX в. В 1996 г. была начата непрерывная цифровая регистрация вариаций геомагнитного поля и компьютерная обработка данных. Данные обсерватории публиковались в трудах Главной геофизической обсерватории, Русского географического общества, ИЗМИРАН, МЦД-Б2 и широко использовались в геофизической науке и специальных исследованиях. Магнитная обсерватория (МО)

неоднократно участвовала в подготовке полярных научно-исследовательских экспедиций (1972–1986 гг.) и в различных международных научных программах. В настоящее время Магнитная обсерватория расположена в пос. Патроны на расстоянии 21 км от Иркутска. Она оснащена современными стандартными и уникальными магнитометрическими инструментами и предназначена для экспериментального исследования МПЗ путем непрерывной регистрации его абсолютных значений и вариаций.

В своей работе обсерватория стремится к получению наблюдательного материала высокого качества, проводя непрерывный мониторинг соответствия требованиям международных стандартов:

- территории и зданий обсерватории;
- используемого на обсерватории оборудования;
- принятых в обсерватории нормам работы;
- проверки получаемых данных и т. д.

Признанием качества получаемого наблюдательного материала, служит включение с 1996 г. обсерватории в мировую сеть магнитных обсерваторий «Интермагнет».

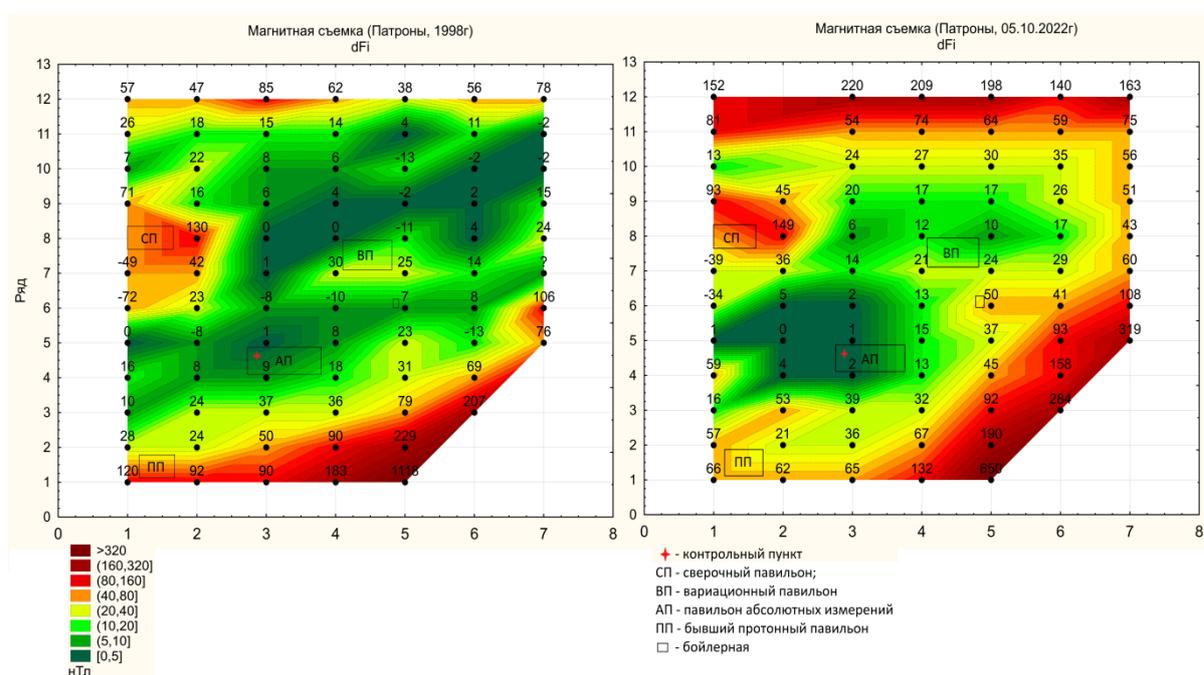


Рис. 3.6.1.2. Результаты магнитных съемок за 1998 и 2022 г., проводимых в рамках ежегодного мониторинга пространственного изменения МПЗ на территории магнитной обсерватории «Иркутск»

Архивы обсерватории хранят непрерывный ряд данных начиная с 1887 г.

В МО «Иркутск» проводится непрерывный круглосуточный мониторинг вариаций геомагнитного поля. Используются магнитометры трех серий:

- трехкомпонентная феррозондовая станция Lemi-018;
- трехкомпонентная станция КВАРЦ;
- трехкомпонентная магнитовариационная станция МВС.

Абсолютные измерения компонент МПЗ проводятся следующими приборами:

- оверхаузеровский протонный магнитометр POS-1 — полный вектор МПЗ;
- инклинометр/деклинометр MAG-001 фирмы «Бартингтон» (Англия, на теодолите фирмы «Цейсс») — склонение и наклонение элементов МПЗ.

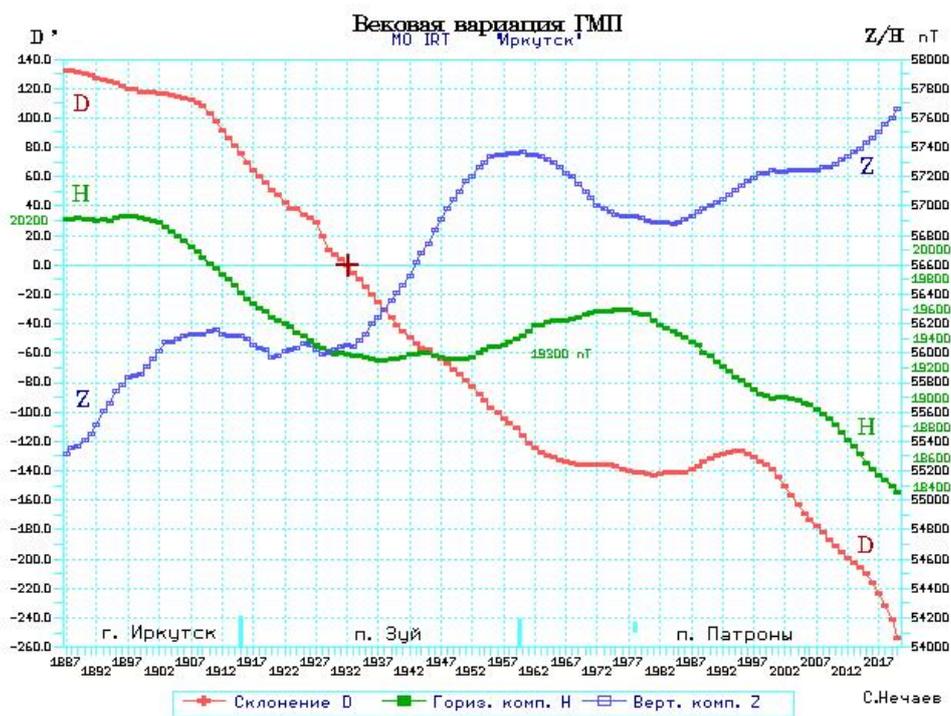


Рис. 3.6.1.1. Вековой ход компонент МПЗ в районе Иркутска за все годы наблюдения

### 3.6.2. Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория

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



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

В 1957–1960 гг. сотрудником Иркутской комплексной магнитно-ионосферной станции П.А. Виноградовым проводились пробные измерения электромагнитного фона в различных регионах Иркутской области в поисках местности с минимумом электромагнитных помех. Наиболее приемлемым оказалось место на севере о. Ольхон на Байкале — урочище Узуры. В 1960 г. там были развернуты наблюдения земных токов по временной схеме. Одновременно под руководством П.А. Виноградова сотрудниками лаборатории земного электричества и короткопериодических колебаний СиБИЗМИР возводились основные здания и сооружения будущей БМТО. После завершения строительства в обсерватории были развернуты по полной схеме наблюдения вариаций теллурических полей на установке земных токов и магнитных колебаний с помощью магнитовариационных станций. С 1973 г. началось обновление регистрирующей аппаратуры обсерватории. Были установлены разработанные в СиБИЗМИРе и изготовленные на опытном заводе СО РАН магнитометры, замененные в конце 1990-х гг. цифровыми индукционными приборами. Для обеспечения электропитания в обсерватории была установлена солнечная электростанция мощностью ~2 кВт.

В настоящее время в БМТО функционирует обширный геофизический комплекс по круглосуточному мониторингу параметров ближнего космоса, в который входят следующие приборы:

- Магнитотеллурическая цифровая станция Lemi-418, осуществляющая измерение вектора вариаций геомагнитного поля 0–0.1 Гц, трех компонент вектора индукции переменного геомагнитного поля 0.01–200 Гц и трех компонент теллурических токов 0.01–200 Гц, включая вертикальную составляющую. БМТО «Узур» — единственная станция в России, где проводятся измерения вертикальной компоненты земных токов.

- 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.

В 2022 г. совместно с ИЗК СО РАН в рамках развития комплексного геофизического мониторинга на Байкальской природной территории была произведена реставрация установки для проведения магнитотеллурических наблюдений.

### 3.7. Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция

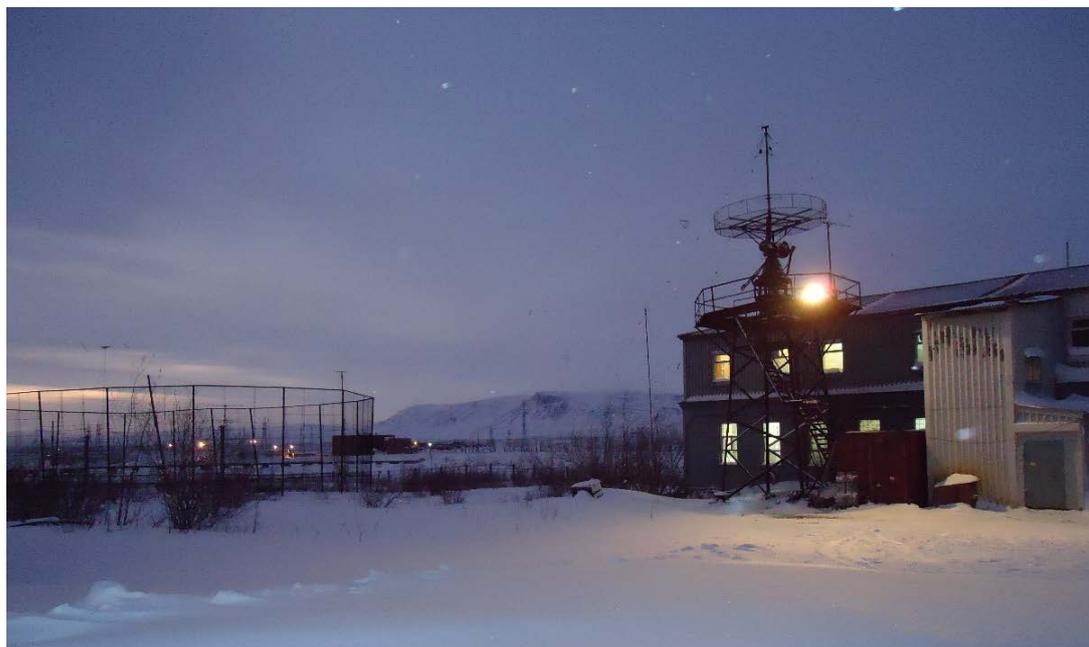


Рис. 3.7.1. Норильская КМИС. Лабораторный корпус

Норильская комплексная магнитно-ионосферная станция (КМИС, первоначальное название Полярный космофизический полигон) образована в 1963 г. Это самый удаленный полигон ИСЗФ СО РАН (рис. 3.7.1).

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 чел. 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 проводилась подготовка аппаратуры и наблюдателей. В периоды проведения высокоширотных экспериментов все штатные геофизические наблюдения на Норильской КМИС проводились по расширенной программе и, как правило, к ним добавлялись геофизические наблюдения, необходимые для планируемого эксперимента.

Норильская КМИС и в настоящее время является важнейшим звеном мировой сети станций мониторинга околоземного космического пространства. Получаемые данные используются в отечественных и международных исследовательских программах. Активное участие Норильская КМИС принимает в общенациональной программе исследований российской Арктики.

В настоящее время на Норильской КМИС магнитометрические измерения включают следующее оборудование:

- трехкомпонентная феррозондовая станция Lem1-008;
- трехкомпонентная станция «КВАРЦ».

Абсолютные измерения компонент магнитного поля Земли (МПЗ) проводятся с помощью следующих приборов:

- оверхаузеровский протонный магнитометр POS-1 — измерение полного вектора МПЗ;
- инклинометр/деклинометр MAG-001 фирмы «Бартингтон» (Англия, на теодолите фирмы «Цейсс») — склонение и наклонение элементов магнитного поля Земли.

Радиофизические измерения и регистрацию космических лучей осуществляют:

- цифровой дигизонд DPS-4 и ЛЧМ-приемник — мониторинг параметров ионосферы;
- супермонитор NM64 — регистрация частиц солнечного и галактического происхождения, достигающих поверхности Земли.

Данные всех измерений передаются в Институт по сети Интернет.

### 3.7.1. Выносной наблюдательный пункт Исток

Выносной наблюдательный пункт (НП) «Исток» Норильской КМИС ИСЗФ СО РАН расположен в тундре на расстоянии 100 км от г. Норильск на оз. Пясино (рис. 3.7.1.1).



Рис. 3.7.1.1. Наблюдательный пункт «Исток» Норильской КМИС

Он предназначен для мониторинга оптических и космофизических явлений в высоких широтах в условиях минимума промышленных и оптических (подсветка города) помех. В настоящее время в нем ведется непрерывная круглосуточная регистрация сигналов навигационных систем, вариаций и абсолютных значений МПЗ, интенсивности космических лучей,

авроральных оптических явлений. Эти данные используются при прогнозировании геомагнитных возмущений, условий дальнего распространения радиоволн, условий работы орбитальных космических аппаратов.

В НП «Исток» установлены:

- индукционный магнитометр для регистрации геомагнитных пульсаций;
- приемник сигналов навигационных систем ГЛОНАСС/GPS Javad-DELTA-G3T с антенной RingAnt-G3T;
- оптический комплекс, включающий спектрограф Shamrock 303i и 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.

В рамках гранта РФФ № 22-27-00280 «Новый метод исследования верхней атмосферы — ультранизкочастотная спектроскопия ионосферы» проводились исследования с использованием данных станции «Исток» совместно с данными КМИС характеристик ионосферного альфвеновского резонатора (ИАР) путем УНЧ-спектроскопии. Исследовался дискретный спектр излучения ИАР, на этой основе были получены сведения об ионосферных параметрах и их изменении во времени (рис. 3.7.1.2).

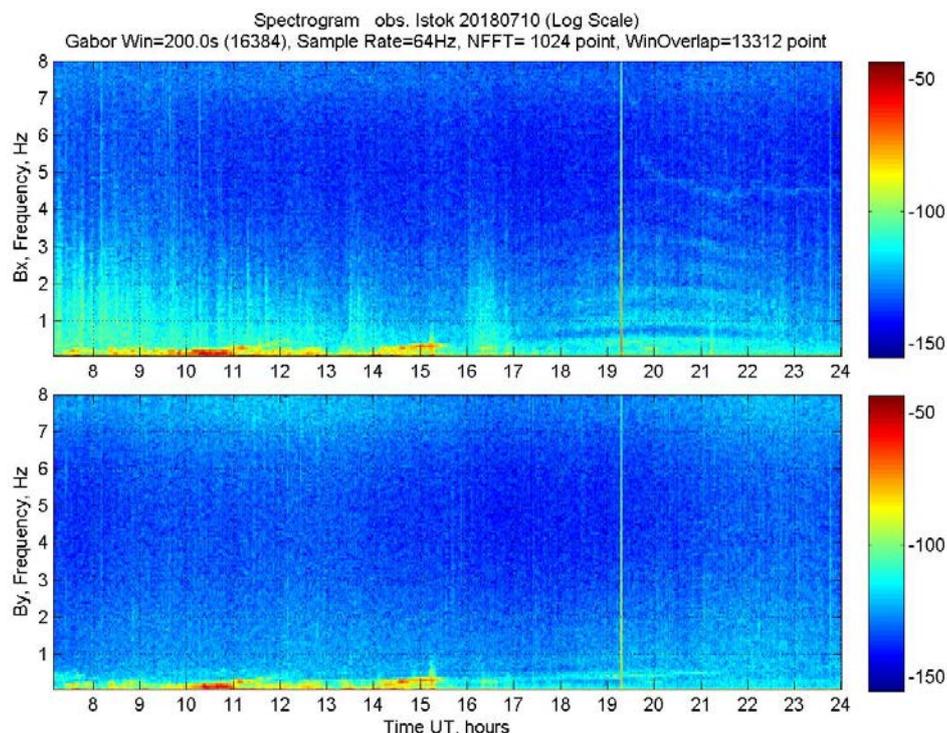


Рис. 3.7.1.2. Суточная спектрограмма (динамический спектр) по данным индукционного магнитометра Lemi-30 ( $B_x$ - и  $B_y$ -компоненты). С 17 по 24 UT в компоненте  $B_x$  наблюдается излучение ИАР

### 3.8. Пункты ионосферных наблюдений «Аркти» и «Магадан»

В настоящее время функционируют два когерентных радара развертываемой СЕти Когерентных Импульсных РАдаров (СЕКИРА) ИСЗФ СО РАН: радар ЕКВ — с конца 2012 г. (Свердловская область, пос. Аркти, территория обсерватории «Аркти» ИГФ УрО РАН) и радар MAGW — с конца 2020 г. (Магаданская область, 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 (рис. 3.8.1).

Приемо-передающее оборудование радаров произведено в Университете Лейстера (Соединенное Королевство) и представляют собой стереорадары типа CUTLASS, аналогичные радарам международной сети SuperDARN.

Радары работают в круглосуточном режиме с временным разрешением несколько минут, каждый радар изучает территорию порядка 1 млн. кв. км. Данные радаров передаются в ИСЗФ СО РАН и обрабатываются автоматически в режиме реального времени. Непрерывные архивы данных радаров доступны с 2012 г. по адресу <http://sdrus.iszf.irk.ru>.

В 2022 г. при поддержке гранта РФФИ-CNRS 21-55-15012 по данным радаров был создан нейросетевой алгоритм автоматического определения типов рассеянных сигналов, принимаемых радарными.



Рис. 3.8.1. Общий вид радаров ЕКВ ИСЗФ СО РАН (вверху) и MAGW ИСЗФ СО РАН

### 3.9. Центр коллективного пользования «Ангара»

ЦКП «Ангара» представляет собой ряд инструментов нового поколения, которые позволяют 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 2022 г. на оборудовании ЦКП велась регулярная работа по мониторингу состояния околоземного космического пространства. Результаты наблюдений использованы при выполнении программы фундаментальных научных исследований.

Сайт ЦКП функционирует в сети Интернет (<http://ckp-angara.iszf.irk.ru/>). Пункты обращения к сайту ЦКП «Ангара» в 2022 г. представлены на рис. 3.8.2.

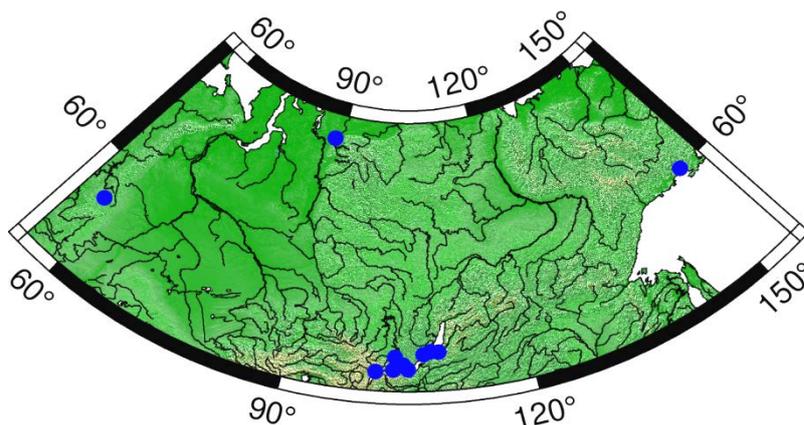


Рис. 3.8.1. Расположение экспериментального оборудования ЦКП «Ангара»

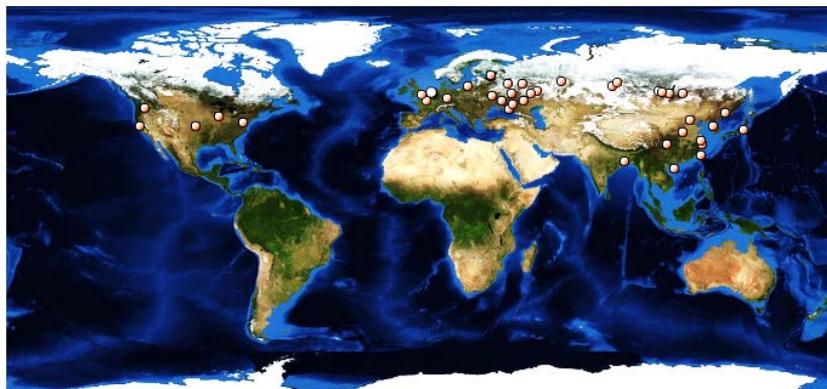


Рис. 3.8.2. Пункты обращения к сайту ЦКП «Ангара» в 2022 г.

### 3.10. Уникальные научные установки

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

Сибирский солнечный радиотелескоп (ССРТ) находится в Тункинской долине между хребтами Восточный Саян и Хамар-Дабан в 220 км от Иркутска. ССРТ включает в себя три Т-образных радиогелиографа с общим количеством антенных постов 528 и максимальной базой порядка 1 км (рис. 3.9.1.1). В рабочей полосе регистрируемых частот от 3 до 24 ГГц ССРТ способен достигать пространственного разрешения 4 угл. сек. Количество частотных каналов — условно-свободный параметр, определяемый научной задачей при проведении наблюдений.



Рис. 3.10.1.1. Центральная часть антенного поля Сибирского солнечного радиогелиографа

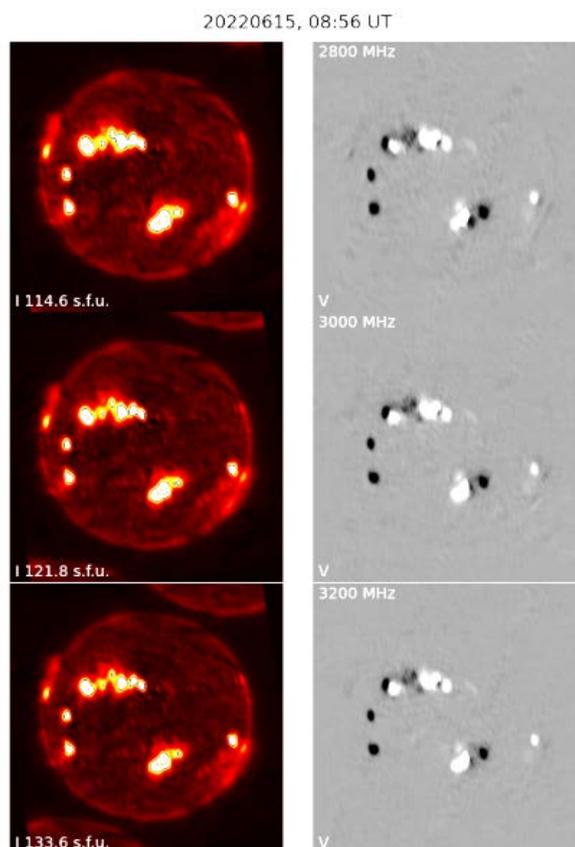
#### Основные научные задачи ССРТ:

- всепогодный ежедневный мониторинг солнечной активности с высоким временным разрешением и высокой чувствительностью;
- исследование геоэффективных событий в солнечной атмосфере (активных областей, выбросов корональной массы, потоков энергичных частиц, ударных волн) по их микроволновому излучению с высоким пространственным и временным разрешением (с привлечением в случае необходимости данных других диапазонов);
- исследование механизмов нагрева хромосферы во время солнечных вспышек;
- исследование структуры атмосферы, магнитных полей и движений плазмы в солнечных пятнах и активных областях;
- развитие методов диагностики и прогноза геоэффективных явлений;
- создание новых методов измерений параметров солнечной атмосферы;
- 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 масс.

В таблице представлен график загрузки УНУ ССРТ за 2022 г. (в часах) с указанием организации — пользователя данных.

График загрузки УНУ ССРТ за 2022 г.

Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь	
186	ИСЗФ	168	ИСЗФ	248	ИСЗФ	240	ИСЗФ	248	ИСЗФ	136	ИСЗФ
Июль		Август		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
0	–	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–



*Рис. 3.10.1.2.* Радиоизображения Солнца, полученные на ССРТ (левый ряд интенсивность, правый поляризация).

К сожалению, в результате неслаженной работы подрядчиков по проекту «Национальный геогеофизический комплекс» в настоящее время наблюдается технический перерыв в работе ССРТ, связанный с пусконаладочными работами нового приемного оборудования. Наблюдательное время ССРТ в 2022 г. составило 1226 ч.

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

Ежедневные изображения (рис. 3.9.1.20 и данные наблюдений доступны на сайте <http://badary.iszf.irk.ru/>. Архив данных доступен на <ftp://ftp.rao.istp.ac.ru/>.

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



*Рис. 3.10.2.1.* 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 2022 г. на научном оборудовании в ОРДА проводился ряд экспериментов, предназначенных для отработки новых методик, модернизации аппаратуры и программного обеспечения.

- Измерения параметров ионосферной плазмы.
- Накопление статистики по обнаруженным космическим объектам (КО).
- Измерение параметров модернизированных выносных приемных устройств (ВПУ).

- Накопление статистики при работе системы синхронизации ИРНР-РЛК.

С 29 августа по 4 сентября проведен научно-исследовательский интенсив на оборудовании ИРНР для группы научных сотрудников в рамках Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике (БШФФ). Получены данные по динамике электронной концентрации, электронной и ионных температур, скорости нейтрального ветра, параметрам перемещающихся ионосферных неоднородностей.

- Проведены работы по грантам РФФИ:

1. 20-05-00580 А «Разработка модели возмущений ионосферы при воздействии на нее жидкостных реактивных двигателей на основе экспериментальных данных, полученных в активных космических экспериментах Плазма-Прогресс и Радар-Прогресс». В рамках проекта проведены наблюдения космических аппаратов, оснащенных слабыми двигательными установками таких систем, как Starlink, OneWeb и CubeSat;

2. 20-05-00212 А Исследование регулярных вариаций и отклика на экстремальные события в верхней атмосфере Земли по данным спектрометрических и радиофизических наблюдений

В 2022 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры и программного обеспечения (ПО) ИРНР:

- испытан дополнительный комплект блока ВПУ;
- установлен новый GPS-приемник;
- установлена система дистанционного управления основными блоками ИРНР;
- доработано ПО обработки ионосферной информации в режиме реального времени;
- доработано ПО обработки спутниковой информации в режиме реального времени;
- модернизирована система отображения текущей информации и контроля ИРНР.

В 2022 г. были проведены работы по постановке на кадастровый учет территории обсерватории и технических зданий ИРНР.

Общее время наблюдений в активном режиме ~55 сут, в остальное время наблюдения велись в пассивном режиме. Все периоды работы радара приведены в таблице.

Эксперименты, проведенные на УНУ ИРНР в период 01.2022–12.2022

Период	Кол-во суток	Эксперимент
с 1 января	–	запуск пассивных наблюдений с возможностью сопровождения звездных радиоисточников
31 января – 5 февраля	6	наблюдения НР, КО
28 февраля – 5 марта	5	наблюдения НР, КО
14 – 17 марта	4	наблюдения НР, КО, отладка систем нового ВПУ
28 марта – 3 апреля	7	наблюдения НР, КО
26 мая – 3 июня	9	наблюдения НР, КО
12 – 13 июля	2	отладка оборудования, установка новых блоков в стойку
22 августа	1	тестирование оборудования
29 августа – 3 сентября	6	наблюдения НР, КО + интенсив БШФФ
4 октября	1	наблюдения НР, прогноз по буре
октябрь – декабрь	14	наблюдения НР, КО план
остальное время до декабря 2021 г.	—	пассивные наблюдения с сопровождением звездных радиоисточников

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

### 3.10.3. 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 п. Листвянка.

Основные научные задачи БСВТ:

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

В 2022 г. проводились работы по модернизации аппаратуры БСВТ, разработке и совершенствованию методов наблюдений. Периоды работ приведены в таблице. Общее время наблюдений составило 156 сут.

## Эксперименты, проведенные на УНУ БСВТ в период 01.2022–11.2022

Период	Кол-во суток	Эксперимент
24.05.2022 – 10.12.2022	44	Мониторинг полного диска Солнца в линии H $\alpha$
13.01.2022 – 13.07.2022	24	Мониторинг полного диска Солнца в линии K CaII
11.07.2022 – 13.07.2022	3	Спектральные наблюдения спектров активных областей Солнца в линиях водорода H $\alpha$ и H $\beta$ в двух поляризациях с целью изучения вспышечной активности
15.06.2022 – 08.09.2022	15	Макетные работы с системой адаптивной оптики БСВТ и измерения характеристик искажений волнового фронта по наблюдениям одного или нескольких солнечных пятен
01.01.2022 – 30.06.2022, 01.10.2022 – 10.11.2022	70	Измерения средних и турбулентных характеристик флуктуаций скорости ветра, температуры и показателя преломления воздуха

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

## 4. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### 4.1. Общие сведения

В 2022 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 2022 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 2022 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 декаметровых 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 — академик 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, руководитель 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 грантам Президента Российской Федерации: Грант Президента РФ № 075-15-2021-392 «Развитие метода определения характеристик атмосферной турбулентности на разных высотах», руководитель проекта — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев.

3. Работы по 13-ти грантам Российского научного фонда:

3.1. № 17-77-20005 «Создание системы сбора, обработки и машинного анализа больших объемов данных глобальных навигационных спутниковых систем для задач исследования околоземного космического пространства», руководитель проекта — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.

3.2. № 20-77-00070 «Пространственные и спектральные характеристики ионосферных возмущений, связанных с развитием неустойчивостей в зимнем стратосферном циркулярном вихре», руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич.

3.3. № 21-12-00195 «Сейсмология вспыхивающих областей на Солнце», руководитель — к.ф.-м.н. В.М. Накаряков.

3.4. № 21-72-00022 «Химически пекулярные звезды на ранних этапах эволюции: Ар/Вр феномен в областях звездообразования», руководитель — к.ф.-м.н. И.С. Потравнов.

3.5. № 21-72-00039 «Исследование наблюдательных свидетельств разных механизмов возбуждения ударных волн в солнечной короне», руководитель — к.ф.-м.н. В.И. Киселев.

3.6. № 21-72-10139 «МГД-волны как средство изучения природы явлений в системе Солнце — Земля», руководитель — к.ф.-м.н. М.А. Челпанов.

3.7. № 22-29-01137 «Разработка метода определения оптической структурированной турбулентности в атмосфере», руководитель — д.ф.-м.н. П.Г. Ковадло.

3.8. № 22-27-00280 «Новый метод исследования верхней атмосферы — ультранизкочастотная спектроскопия ионосферы», руководитель — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

3.9. № 22-22-00019 «Исследование транзиентных явлений в короне Солнца с помощью микроволновых наблюдений с пространственным и спектральным разрешением», руководитель — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

3.10. № 22-17-00146 «Экспериментальное и теоретическое исследование взаимодействия нейтральной и ионизированной компонент атмосферы Земли», руководитель — акад. Г.А. Жеребцов.

3.11. № 22-77-10032 «Взаимодействие ультранизкочастотных волн с частицами кольцевого тока в магнитосфере Земли: теория и эксперимент», руководитель — к.ф.-м.н. О.С. Михайлова.

3.12. № 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.

3.13. № 22-72-00049 «Астрооптические свойства и структура турбулентной атмосферы: концепция размещения крупного телескопа», руководитель — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев.

4. Выполнялись 5 грантов РФФИ: по физике Солнца — 1, по физике околоземного космического пространства — 4. Среди грантов — 1 молодежный и 2 — по соглашению РФФИ с зарубежными научными организациями:

4.1. № 20-45-383010\_р\_мол\_а «Разработка модели ошибки позиционирования для повышения стабильности навигационного обеспечения в Прибайкальском регионе», руководитель — к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич.

4.2. № 20-05-000580\_а «Разработка модели возмущений ионосферы при воздействии на нее жидкостных реактивных двигателей на основе экспериментальных данных, полученных в активных космических экспериментах «Плазма—Прогресс» и «Радар—Прогресс», руководитель — к.ф.-м.н. В.В. Хахинов.

4.3. № 20-05-00212\_а «Исследование регулярных вариаций и отклика на экстремальные события в верхней атмосфере Земли по данным спектрометрических и радиофизических наблюдений», руководитель — к.ф.-м.н. И.В. Медведева.

4.4. № 21-52-10012\_КО\_а 2021 «Изучение процессов ускорения электронов в микроволновых источниках событий в метровом радиодиапазоне», руководитель — д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

4.5. № 21-55-15012 НЦНИ\_а 2021 «Исследования взаимодействия ионосферы и атмосферы с помощью сопряженных радаров и моделирования», руководитель — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт.

5. Выполнялись работы в рамках создания Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук и прикладные 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 состав совета входит 32 чел. Председателем является директор Института, чл.-корр. РАН А.В. Медведев.

В 2022 г. было проведено 11 заседаний ученого совета, 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.

Научная сессия по итогам научно-исследовательской работы по проектам государственного задания 2022 г. проходила 23–24 ноября 2022 г. Были заслушаны основные научные результаты и выдвинуты наиболее значимые и важнейшие результаты 2022 г.:

1. Гречнев В.В., Киселев В.И., Уралов А.М. Наблюдательное подтверждение сценария возбуждения ударных волн в солнечной короне импульсно ускоряющимся магнитным жгутом.

2. Михайлова О.С., Смотровая Е.Е., Магер П.Н. Первое экспериментальное подтверждение теории генерации УНЧ-волн в магнитосфере при резонансном взаимодействии с энергичными электронами благодаря градиентной неустойчивости.

3. Кичатинов Л.Л. Зависимость циклов магнитной активности от эффективной температуры звезд солнечного типа.

4. Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Сыч Р.А., Колотков Д.Ю. Двухпиковые квазипериодические пульсации в круговой ленточной вспышке по данным радиотелескопов ССРТ 5.7 ГГц и NoRH 17 ГГц.

5. Потравнов И.С. Джет загадочной высокоширотной звезды ВР Рsc и эволюционный статус источника.
6. Ясюкевич А.С., Черниговская М.А., Хабитуев Д.С., Ясюкевич Ю.В. Спектральные характеристики волновых возмущений в зимней стратосфере и нижней мезосфере Северного полушария.
7. Григорьев В.М., Ермакова Л.В., Хлыстова А.И. Структура и динамика магнитных полей при возникновении активных областей в период смены циклов солнечной активности 24 и 25.
8. Белецкий А.Б., Ткачев И.Д., Насыров И.А. и др. Излучение эмиссии 557.7 нм, индуцированное мощным радиоизлучением стенда СУРА на высотах спорадического слоя Е.
9. Ковалев И.И., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Расширение метода спектрографической глобальной съемки.
10. Бернгардт О.И., Кусонский О.А., Поддельский А.И., Ойнац А.В. Автоматическая идентификация типов рассеянных сигналов на данных радаров ЕКВ и MAGW ИСЗФ СО РАН самообучившейся нейронной сетью.
11. Лебедев В.П., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Куркин В.И. Программно-аппаратный комплекс для измерения диаграмм направленностей антенн, развернутый на борту беспилотного летательного аппарата.
12. Ратовский К.Г., Медведева И.В. Локальная эмпирическая модель ионосферной возмущенности.
13. Ключевский А.В., Михалев А.В., Медведев А.В., Демьянович В.М. Реакция излучения верхней атмосферы Земли на Хубсугульское землетрясение 11 января 2021 г.
14. Ясюкевич Ю.В., Веснин А.М., Киселев А.В. и др. Система мониторинга ионосферного абсолютного электронного содержания на базе сигналов ГНСС (MITIGATOR).
15. Мишин В.В., Клибанова Ю.Ю., Медведев А.В. и др. Установлен факт практически мгновенного геомагнитного отклика на значительное изменение динамического давления солнечного ветра в ходе магнитной бури.
16. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Ильин Н.В. и др. Возвратно-наклонное зондирование ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом.
17. Михалев А.В., Белецкий А.Б., Лебедев В.П., Сыренова Т.Е., Хахинов В.В. Оптические эффекты полета ракеты-носителя «Протон-М» со спутником «Ямал-601» в дальней от места старта зоне.
18. Егоров Я.И., Файнштейн В.Г. Кинематические характеристики stealth-КВМ в трехмерном пространстве.
19. Пензин М.С., Ильин Н.В., Пономарчук С.Н. Развитие волноводного подхода для исследования КВ-радиотрасс.
20. Ратовский К.Г., Клименко М.В., Дмитриев А.В., Медведева И.В. Морфологический анализ экстремальных ионосферных возмущений.
21. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Хабитуев Д.С. Отклик системы ионосфера — термосфера в средних широтах Евразии на геомагнитные бури в марте 2012 г.
22. Живетьев И.В., Ясюкевич Ю.В. Приложение теории графов для ионосферных исследований.

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

Диссертационный совет Д.003.034.01 создан при Институте солнечно-земной физики СО РАН приказом Рособнадзора Министерства образования и науки РФ от 02.11.2007 г. № 2249-1351, и его срок полномочий продлен приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 03.06.2021 г. № 561нк до 16.10.2022 г.

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

- 01.03.03 — физика Солнца, по физико-математическим наукам;
- 01.04.03 — радиофизика, по физико-математическим наукам;
- 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы, по физико-математическим наукам.

В 2022 г. проведено 13 заседаний совета, защищены 4 кандидатских диссертации и 1 докторская:

- 7 апреля 2022 г., Сивцева Вера Исаевна, кандидатская диссертация «Исследование активности внутренних гравитационных и приливных волн в области мезопаузы по данным высокоширотных наблюдений в Восточной Сибири», специальность 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.
- 17 мая 2022 г., Сыренова Татьяна Евгеньевна, кандидатская диссертация «Метод анализа пространственных вариаций интенсивности свечения верхней атмосферы, регистрируемых цифровыми широкоугольными камерами», специальность 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.
- 17 мая 2022 г., Пенских Юрий Владимирович, кандидатская диссертация «Диагностика авроральных овалов в двух полушариях Земли на основе техники инверсии магнитограмм», специальность 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.
- 24 мая 2022 г., Елагандула Нага Варун, кандидатская диссертация «Теоретические исследования солнечных корональных петель: нелинейная радиальная мода», специальность 01.03.03 — физика Солнца.
- 14 июня 2022 г., Савельева Екатерина Сергеевна, докторская диссертация «Полярные вихри: причины и последствия аномальной динамики в нижней стратосфере», специальность 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.

#### 4.4. Международное сотрудничество

В отчетном году состоялось 8 выездов сотрудников ИСЗФ СО РАН в Грецию, США, Францию и Швейцарию. Сотрудники Института приняли участие в 15 международных научных мероприятиях (см. список международных научных мероприятий).

##### *Международные проекты*

Инициативный научный проект РФФИ — Лондонское королевское общество № 21-52-10012 «Изучение процессов ускорения электронов в микроволновых источниках событий в метровом радиодиапазоне». Координаторы — руководитель научного направления по радиофизике д.ф.-м.н. Алтынцев А.Т., ИСЗФ СО РАН; Хэмиш Рид, Университетский колледж Лондона (Гауэр-стрит, Лондон, WC1E 6BT). Сроки: 2021–2022 гг.

Проект 2017VMA009 программы Президента Китайской академии наук «Президентская инициатива поддержки международных визитов (CAS President's International Fellowship Initiative, PIFI) «Взаимное сопоставление полнодисковых наблюдений магнитных полей Солнца, выполненных на китайских, российских и других обсерваториях: инструментальные вопросы и проблемы физики Солнца». Координаторы — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, ИСЗФ СО РАН; Юаньюн Дэн, Национальные астрономические обсерватории КАН (20А улица Датун, район Чаоян, Пекин, 100012, Китай). Сроки: 2017–2023 гг.

Инициативный научный проект РФФИ — Национальный центр научных исследований Франции № 21-55-15012 «Исследования взаимодействия ионосферы и атмосферы с помощью сопряженных радаров и моделирования». Координаторы — к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт (ИСЗФ СО РАН); Орели Маршодон, Институт исследований в области астрофизики и планетологии (15 Авеню Колонель Рош, г. Тулуза, Франция). Сроки: 2021–2022 гг.

Проект Международного института космических исследований (International Space Science Institute) «Трехмерное моделирование магнитных полей в активных областях на Солнце». Исполнитель от ИСЗФ СО РАН — к.ф.-м.н. С.А. Анфиногентов; координатор — Г.Д. Флейшман, Технологический институт Нью-Джерси (101 Тиернан Холл, Ньюарк, Нью-Джерси 07102, США). Сроки: 2020–2023 гг.

Проект G2022150005L «Изучение динамических процессов на Солнце по данным наблюдений обсерватории Чаньшань и Сибирского радиогелиографа». Координаторы — к.ф.-м.н. Сыч Р.А., ИСЗФ СО РАН; проф. Фабао Янь, Институт космических наук Шаньдунского университета (180 Вэньхуа-Си-Роуд, Вэйхай, Китай). Сроки: 2022–2023 гг.

Проект G2022032006L «Магнитогидродинамическое моделирование и диагностика солнечных активных областей гигантскими телескопами». Координаторы — к.ф.-м.н. С.А. Анфиногентов, ИСЗФ СО РАН; проф. Дин Юань, Харбинский технологический институт (Шэньчжэнь) (Университетский городок Шэньчжэнь, район Наньшань, Шэньчжэнь, КНР). Сроки: 2022–2023 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: 1996–2024 гг.

#### *Объединенный Российско-Китайский научный центр по космической погоде*

Объединенный Российско-Китайский научный центр по космической погоде (ОНЦ-КП) был создан в 2000 г. Институтом солнечно-земной физики СО РАН и Центром космической науки и прикладных исследований КАН (с 2010 г. — Национальный центр космических исследований КАН (НЦКИ КАН)).

В рамках работы Центра в 2022 г. проводились совместные научно-исследовательские работы:

- по проекту PIFI № 2017VMA009;
- по проекту G2022150005L;
- по проекту G2022032006L;
- в рамках Программы российско-китайского сотрудничества в области космоса на 2018–2022 гг. по теме «Наблюдение и исследование малоразмерного космического мусора на околополярных орбитах с использованием информации системы EISCAT и радара некогерентного рассеяния Обсерватории радиофизической диагностики атмосферы ИСЗФ СО РАН» совместно с Китайским научно-исследовательским институтом распространения радиоволн (CRIRP);

- исследования свечения верхней атмосферы Земли совместно с коллегами из Национального центра космических исследований КАН.

В 2022 г. вышла в печать коллективная монография «Ионосферные возмущения в Восточно-Азиатском регионе» (Жеребцов Г.А., Shi Jiankui, Перевалова Н.П., Полех Н.М., Золотухина Н.А. Ионосферные возмущения в Восточно-Азиатском регионе. М.: ГЕОС, 2021. 338 с. ISBN 978-5-89118-833-4), обобщившая результаты российско-китайских исследований поведения ионосферы, проводившихся в 2000–2017 гг. в ИСЗФ СО РАН и НЦКИ КАН в рамках работы ОНЦ-КП (электронная версия монографии вышла в 2021 г.).

В июле 2022 г. директор Института чл.-корр. РАН А.В. Медведев и научный руководитель Института академик Г.А. Жеребцов стали членами Программного и Научного комитетов Международной программы «Меридиональный круг».

#### *Визиты зарубежных ученых в ИСЗФ СО РАН*

В Институте 8 апреля прошли заседания секции «Физика и астрономия» Международной научной Российско-Монгольской конференции «Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества». В работе приняли участие 7 научных сотрудников Института астрономии и геофизики Академии наук Монголии и 1 научный сотрудник Института физики и технологии Монгольской академии наук (г. Улан-Батор, Монголия).

Для участия в работе Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике (БШФФ–2022) Институт с 4 по 10 сентября посетили 2 аспирантки Национального научно-исследовательского центра мониторинга озоносферы Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь).

#### *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. Международный проект «Международная справочная модель ионосферы» (International Reference Ionosphere (IRI) Project) — 1 чел.
7. Международная инициатива по космической погоде (International Space Weather Initiative, ISWI) — 2 чел.
8. Международная общественная организация «Оптическое общество им. Д.С. Рождественского» (Optical Society named after D.S. Rozhdestvensky) — 1 чел.
9. Международный комитет по солнечно-земной физике (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics, SCOSTEP) — 2 чел.
10. Комитет по космическим исследованиям (Committee on Space Research, COSPAR) — 4 чел.
11. Сеть по определению изменений в мезопаузе (Network for the Detection of Mesopause Change, NDMC) — 1 чел.
12. Азиатско-Тихоокеанское геофизическое общество (Asia Oceania Geosciences Society, AOGS) — 1 чел.
13. Международный союз радионаук (Union Radio-Scientifique Internationale, URSI) — 1 чел.
14. Ассоциация выпускников программы Марии Кюри (Marie Curie Alumni Association, МСAA) — 1 чел.
15. Международная программа «Меридиональный круг» (International Meridian Circle Program) — 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 — академик РАН Г.А. Жеребцов, заместители — чл.-корр. РАН А.В. Степанов (ГАО РАН) и д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

В состав редакционной коллегии в 2022 г. входили 10 сотрудников Института, 12 представителей других институтов и 3 представителя зарубежных организаций. Научные специальности журнала (1.3.1 — Физика космоса, астрономия; 1.3.4 — Радиоп физика; 1.6.18 — Науки об атмосфере и климате) в составе редколлегии представляют не менее 10 докторов наук.

В 2022 г. состоялось четыре заседания редколлегии, на которых обсуждалось содержание каждого из выпусков журнала. Члены коллегии обменивались мнениями по различным спорным вопросам, касающимся поступивших в редакцию рукописей, намечали планы выпуска следующих номеров.

Журнал включен в международные базы и системы научного цитирования WoS (ESCI), Scopus, NASA Astrophysics Data System (ADS), Directory of Open Access Journals (DOAJ), CrossRef и отечественную базу РИНЦ. Двухлетний импакт-фактор РИНЦ с учетом цитирования переводной версии составляет 1.529.

Журнал издается в русско- и англоязычных версиях. В 2022 г. изданы по 4 номера тома № 8 в обеих версиях, в которых опубликовано 45 научных статей по следующим аспектам солнечно-земных связей:

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

В 2022 г. Институт опубликовал «Отчет о научной и научно-организационной деятельности в 2021 г.».

#### **4.6. Работа библиотеки**

Работа библиотеки в 2022 г. велась по всем обязательным направлениям.

- Добавлены 892 новых записей в электронный каталог «Публикации сотрудников Института», общее количество отраженных в каталоге публикаций достигло 19527 единиц.

- В БД «Электронные книги» прибавились 30 новых наименований книг по тематике исследований Института.

- По запросам сотрудников скачано 260 статей, оцифровано 2 книги и 2 объемные статьи из журналов.

- Выполнено 8 заказов по МБА из удаленных источников (библиотеки других городов) для сотрудников ИСЗФ СО РАН и других институтов.

- Продолжалась плановая работа по переводу в электронный вид статей из журнала «Геомагнетизм и аэрономия». Было отсканировано 140 статей.

- Своевременно в раздел «Отечественные журналы» электронного каталога библиотеки вводится содержание поступающих выпусков журналов «Геомагнетизм и аэрономия», «Астрономический журнал», «Письма в «Астрономический журнал». Наполняемость электронной библиотеки Института достигла 90.4 Гб.

За 2022 г. библиотечный фонд, как и в предыдущие годы, пополнялся в основном только книгами, полученными в дар от сотрудников. Самостоятельно были куплены 2 выпуска «Астрономического ежегодника». Отечественные журналы поступали в течение года по подписке, но из-за недостаточного финансирования список их в очередной раз был сокращен еще на 2 издания. Информация о новых поступлениях ежеквартально размещалась в Едином электронном каталоге UNIT на базе библиотеки ИИЦ СО РАН.

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

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

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

Проведены 5 тематических выставок:

- ко Дню науки «О сколько нам открытий чудных....»,
- «Весна идет – весне дорогу!» (к 8 Марта),
- «И звездный мир! И даль планет!» (к Дню космонавтики),
- «Сердце матери» (к Дню Победы),
- мини-выставка «Книги-юбиляры 2022 года».

Выставка новых поступлений обновляется по мере поступлений литературы 1–2 раза в месяц.

Выполнено 8 объемных справок по запросам руководства Института с использованием зарубежных баз данных WOS, SCOPUS и отечественной БД РИНЦ.

#### 4.7. Образовательная деятельность

Подготовка научных и научно-педагогических кадров является одной из приоритетных задач Института. В 2022 г. в связи с изменениями в законе об образовании и изменениями номенклатуры научных специальностей была проделана большая работа, связанная с подготовкой образовательных программ для приема новых аспирантов на научные специальности 1.3.1 «Физика космоса и астрономия», 1.3.1 «Радиофизика» и 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».

В 2022 г. Министерством науки и высшего образования РФ было выделено 8 бюджетных мест для приема в аспирантуру и 5 мест для приема в магистратуру. Приемная кампания не только для нашего Института, но и для многих вузов Иркутска проходила в сложных условиях, в том числе связанных с особенностями приема детей военнослужащих и соотечественников.

По состоянию на 31.12.2022 г. численность аспирантов по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров составляет 30 чел. (табл. 4.7.1): Радиофизика — 11 чел., Физика Солнца — 6 чел., Физика атмосферы и гидросферы — 5 чел. По научным специальностям: 1.3.1 Физика космоса, астрономия — 3 чел., 1.3.4 Радиофизика — 2 чел., 1.6.18 Науки об атмосфере и климате — 3 чел.

В 2022 г., было 3 выпускника, получивших диплом об окончании аспирантуры, из них 2 чел. — по профилю «Радиофизика» и 1 чел. — по профилю «Физика атмосферы и гидросферы».

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-исследовательских работ (диссертаций)
1	Цедрик М.В.	зав. отделом д.ф.-м.н. Куркин В.И.	Исследование амплитудно-фазовых характеристик частотно-модулированных сигналов, прошедших ионосферный радиоканал
2	Торопова М.С.	с.н.с. к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Механизмы излучения слабых солнечных вспышек по данным микроволнового и рентгеновского диапазонов
3	Холодова Л.А.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Васильев Р.В.	Влияние геофизических событий на распространение электромагнитных волн от молниевых разрядов
4	Ковалев И.И.	в.н.с. к.ф.-м.н. Сдобнов В.Е.	Расширение метода спектрографической глобальной съемки для исследования температурного разреза атмосферы по вариациям космических лучей

5	Софьин А.В.	зав. отделом д.ф.-м.н. Куркин В.И.	Перемещающиеся ионосферные возмущения в среднеширотной ионосфере Азиатского региона России
6	Серебренникова С.А.	в.н.с. к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.	Оценка границ локализации возмущений высокоширотной и низкоширотной ионосферы по данным глобальных навигационных спутниковых систем
7	Рыбкина А.А.	зав. отделом д.ф.-м.н. Куркин В.И.	Морфологический анализ перемещающихся ионосферных возмущений по данным многофункционального ЛЧМ-ионозонда «Ионозонд-МС»
8	Яковлева И.П.	н.с. к.ф.-м.н. Тащилин М.А.	Пространственно-временные вариации аэрозольной оптической толщи в Байкальском регионе по данным наземных и спутниковых измерений
9	Логвинов Д.В.	г.н.с д.ф.-м.н. Демидов М.Л.	Прогноз параметров солнечного ветра по наблюдениям крупномасштабных магнитных полей Солнца
10	Рубцов А.В.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю.	Компрессионные ультра-низкочастотные волны в магнитосфере: теория и эксперимент
11	Малецкий Б.М.	в.н.с. к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.	Построение эмпирической модели ионосферных возмущений по данным GPS/ГЛОНАСС/Galileo/BeiDou
12	Молчанова Н.О.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Васильев Р.В.	Радиофизические эффекты высотных молниевых разрядов
13	Тютрин Д.А.	зам. директора по научной работе к.ф.-м.н. Лесовой С. В.	Разработка радиометра на длину волны 10.7 для мониторинга геоэффективных солнечных явлений
14	Вяткин А.Н.	н.с. к.ф.-м.н. Зоркальцева О.С.	Исследование эффектов крупномасштабных тропосферных процессов в верхней атмосфере
15	Обытоцкий Г.В.	н.с. к.ф.-м.н. Тащилин М.А.	Исследование вариаций аэрозольной оптической толщи на территории Восточной Сибири по данным спутниковых измерений
16	Власов А.А.	в.н.с. д.ф.-м.н. Леонович А.С.	Исследование пространственной структуры монохроматических альфвеновских волн в магнитосфере Земли
17	Шамсутдинова Ю.Н.	с.н.с. к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Процессы энерговыделения в микроволновых источниках событий в метровом радиодиапазоне
18	Киричков П.Н.	г.н.с. д.ф.-м.н. Демидов М.Л.	Анализ магнитной активности Солнца на основе синоптических наблюдений
19	Трофимов Е.А.	директор член-корр. РАН Медведев А.В.	Экспериментальное исследование волновой активности в верхней атмосфере

20	Федоров М.Э.	д.т.н. Демьянов В.В.	Алгоритм оценки шумов генераторов навигационных приемников для повышения точности измерения фазы двухчастотными навигационными приемниками
21	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
22	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
23	Каракотов Р.Р.	зав. лаб. д.ф.-м.н. Кузнецов А. А.	Исследование квазипериодических колебаний в солнечных вспышках по многоволновым наблюдениям
24	Смотрова Е.Е.	н.с. к.ф.-м.н. Михайлова О. С.	Исследование взаимодействий ультранизкочастотных волн с заряженными частицами магнитосферы
25	Шелков А.Д.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Васильев Р.В.	Динамические и температурные вариации нейтральной компоненты верхней атмосферы под действием магнитосопряженной ионосферы
26	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
27	Гномик Н.А.	с.н.с. к.ф.-м.н. Лебедев В.П.	Комплексный анализ геофизических данных, полученных на радиофизических инструментах ИСЗФ СО РАН
28	Маршалкина Т.Н.	в.н.с. к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.	Разработка эмпирических моделей для прогнозирования геомагнитной и ионосферной возмущенности
29	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
30	Третьяков М.И.	с.н.с. к.ф.-м.н. Черниговская М.А.	Исследование особенностей атмосферно-ионосферного и ионосферно-магнитосферного взаимодействия над регионами Сибири и Дальнего Востока

В 2022 г. впервые в истории Института состоялся первый выпуск магистрантов по профилю «Солнечно-земная физика». Общее количество 4 чел. Два выпускника окончили магистратуру с красным дипломом: Каракотов Руслан и Смотрова Екатерина.

Продолжается подготовка по образовательной программе магистратуры 03.04.02 «Физика». Общая численность магистрантов 1-2 года обучения составила 8 чел.

Темы научно-исследовательских работ магистрантов приведены в табл. 4.7.2.

Таблица 4.7.2

№	ФИО магистранта	Научный руководитель	Тема научно-исследовательских работ
1	Мотык И.Д.	с.н.с. к.ф.-м.н. Кашапова Л.К.	Пространственно-временная структура микроволновых источников в солнечных вспышках
2	Феденёв В.В.	с.н.с. к.ф.-м.н. Анфиногентов С.А.	Микроволновое изучение солнечных активных областей с аномально сильным магнитным полем
3	Воронова Е.А.	зав. лаб. к.ф.-м.н. Ратовский К.Г.	Морфологический анализ характеристик спорадического слоя по данным Иркутского ионозонда вертикального зондирования ионосферы
4	Валиулин Д.Ф.	с.н.с. к.ф.-м.н. Ойнац А.В.	Исследование влияния шероховатой земной поверхности на характеристики рассеянного декаметрового сигнала
5	Дрига М.Б.	с.н.с. д.ф.-м.н. Ковадло П.Г.	Разработка метода оценки параметров волнового фронта световой волны применительно к системе коррекции телескопических изображений
6	Кириченко К.Е.	с.н.с. д.ф.-м.н. Ковадло П.Г.	Исследования гидрогеофизических явлений в полярных областях Земли, связанных с глобальным потеплением
7	Кургузов Н.В.	с.н.с. к.ф.-м.н. Лебедев В.П.	Исследование радиолокационных сигналов малоразмерных космических объектов по данным ИРНР
8	Новикова Р.В.	в.н.с. д.ф.-м.н. Мишин В.В.	Динамика магнитосферы Земли во время геомагнитных бурь

По окончании магистратуры у выпускников Института есть возможность поступления в аспирантуру без вступительных экзаменов на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров.

Таким образом, в 2022 г. продолжается реализация непрерывного процесса подготовки обучающихся по программам магистратура — аспирантура.

#### 4.8. Работа с вузами

Институт сотрудничает с ИрГУ (ФГБОУ ВПО Иркутский государственный университет), ИрНИТУ (ФГБОУ ВПО Иркутский государственный технический университет), БГУ (Байкальский государственный университет), ИРГУПС (Иркутский государственный институт 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 ВПО Иркутский государственный технический университет, соглашение о сотрудничестве от 20 июля 2010 г., договор о сотрудничестве от 22 ноября 2011 г.);

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

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

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

Активно используется инструментальная база Института. В обсерваториях Института ежегодно проходят практику студенты ИГУ, ИрГТУ, БурГУ, ведется популяризаторская деятельность. В 2022 г. были проведено более 940 экскурсий в обсерватории Института.

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 уникальных научных установок Института, расположенных в Саянской солнечной обсерватории и Байкальской астрофизической обсерватории 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 2022 г. занималось более 40 сотрудников, 9 сотрудников проводили работу со школьниками.

В 2022 г. в Институте прошли производственную практику 19 студентов вузов, выполнили курсовые — 6, дипломные работы — 8.

#### **4.9. Работа Научно-образовательного центра**

Научно-образовательный центр (НОЦ) ИСЗФ СО РАН создан в 2008 г. Основной его задачей является организация педагогической работы и деятельности по популяризации науки, которая проводится сотрудниками Института с целью привлечения в Институт молодых перспективных научных кадров. Организационная структура НОЦ включает заведующего, секретаря и научных сотрудников Института, привлекаемых к работе НОЦ. Научные сотрудники ведут учебные курсы, читают научные и научно-популярные лекции, руководят учебной и производственной практикой студентов, научно-исследовательской работой школьников, проводят экскурсии.

В 2022 г. сотрудники ИСЗФ приняли активное участие в работе разнообразных научно-образовательных мероприятий, проводимых в г. Иркутске. К Дню российской науки для школьников и жителей города в областной государственной универсальной научной библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского проведена научно-популярная лекция: «Наблюдение Солнца в радиодиапазоне» (к.ф.-м.н. Анфиногентов С.А.). В рамках проекта «Новости науки» прочитана лекция «Как и зачем исследуют атмосферу Земли» (Ткачев И.Д.). В рамках всероссийского фестиваля «Наука 02 «Прекрасная и опасная космическая погода» (к.ф.-м.н. Ю.В.Ясюкевич).

С целью расширения сотрудничества НОЦ со школами г. Иркутска в лабораториях ИСЗФ была организована ознакомительная исследовательская практика для учащихся лицея-интерната № 1 (к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В., к.ф.-м.н. Едемский И.К., Ткачев И.Д.).

15 апреля 2022 г. НОЦ при поддержке ИГУ и Министерства образования Иркутской области подготовил и провел XI Научно-практическую конференцию школьников «Человек и космос», которая прошла в онлайн формате. В конференции приняли уча-

стие школьники 7–11 классов (21 чел.) из городов и поселков Иркутской области: Иркутска, Ангарска, Шелехова, Усть-Илимска, п. Николаевка, с. Мишелевка, д. Люры. Научное руководство работами школьников осуществляли 9 сотрудников Института. Соруководителями и консультантами являлись 18 учителей физики. В рамках конференции для школьников прочитана лекция «Солнце через объектив» (к.ф.-м. н. А.А. Челпанов).

В ходе сотрудничества ИСЗФ с ИрГУПС для студентов 3 курса направления «Приборостроение» (профиль «Приборы и методы контроля качества и диагностики») проведена производственная практика в лабораториях Института и Саянской солнечной обсерватории в п. Монды (к.т. н. С.А. Чупраков, к.ф.-м. н. Г.П. Машнич).

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 2022 г. ведущие ученые Института прочитали курсы лекций по физике Солнца, плазмы, ионосферы и магнитосферы. Проведены следующие мероприятия:

- Спец. курс «Физика ближнего космоса» (к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин);
- Курс лекций и практических занятий «Обработка сигналов и изображений» (к.ф.-м.н. А.А. Кочанов).
- Курс лекций и практических занятий «Физика Солнца», «Методы обработки изображений», «Специальный практикум по астрофизике» и «Астрофизика» (к.ф.-м.н. Л.К. Кашапова).
- Производственная практика. Радиофизики ИГУ. Бакалавры, 4 курс (А.М. Веснин)
- Спец. курс «Радиофизические исследования ионосферы». Магистратура 1 курс, кафедра радиофизики и радиоэлектроники ИГУ (к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, А.М. Веснин, к.ф.-м.н. И.К. Едемский, к.ф.-м.н. В.П. Лебедев, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, А.В. Рубцов, к.ф.-м.н. Т.Н. Сыренова, В.П. Ташлыков).
- Лекционные и практические занятия в рамках курсов «Экспериментальные методы в геофизике», Бакалавриат 3 курс, кафедра общей и космической физики ИГУ (к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич, А.М. Веснин, к.ф.-м.н. И.К. Едемский, к.ф.-м.н. В.П. Лебедев, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский, А.В. Рубцов, к.ф.-м.н. Т.Н. Сыренова, В.П. Ташлыков).

#### **4.10. Работа музея**

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

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

На сегодняшний день экспозиция музея включает более 370 единиц хранения.

Весной 2022 г. музей получил новый экспонат для своей экспозиции: акустооптический приемник, проработавший на Сибирском солнечном радиотелескопе (ССРТ) много лет, предназначенный для детального исследования радиоизображения Солнца. Место для этого важного экспоната еще не определено, поскольку в зале музея до настоящего времени проводятся ремонтные работы.

В рабочей комнате музея выполнен ремонт, закуплена новая мебель.

Для оформления оконных пролетов на листе бэклит выполнено фото 180×150 Радиоастрофизической обсерватории (РАО). Автор — фотохудожник С. Толстнев. Чтобы закончить композицию «Уникальные установки России» выбрано несколько фото Большого солнечного вакуумного телескопа (БСВТ), идет подбор фото Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР).

В этом году в музей передан Архив одного из основателей Института Г.Я. Смолькова.

Чтобы быть в курсе событий, происходящих на полигонах Института в период реализации проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН», составлен график посещений обсерваторий на 2023 г.

Работу по поиску новых экспонатов, созданию и реставрации альбомов, поиску фотоматериалов и созданию постеров о ветеранах Института, проработавших 50 и более лет, музей проводит совместно с Советом научной молодежи и профкомом Института.

В День науки 4 февраля с соблюдением всех санитарных правил в выставочном зале музея была открыта выставка «СИБИЗМИР — это молодость наша. СИБИЗМИР — это наша судьба» с показом видео, поздравлениями юбиляров и вручением памятных подарков.

Традиционно совместно с профкомом и дирекцией Института музей принимал участие в поздравлении ветеранов Великой Отечественной войны с праздником Победы. Кроме того, 6 мая 2022 г. в зале музея состоялось вручение памятных медалей «Дети войны».

Раздел «Музей ИСЗФ СО РАН» на сайте Института пополнился новыми выставками:

- СПОРТ = ПРОФСОЮЗ = СИБИЗМИР = ИСЗФ СО РАН — страницы истории,
- СИБИЗМИР и первые спутники.

Завершается подготовка выставки к 60-летию Норильской КМИС.

Начат сбор материалов к 110-летию В.Е. Степанова, ученого-астрофизика, директора СИБИЗМИР СО АН СССР (ныне – ИСЗФ СО РАН) в 1965–1978 г.

С участием председателя Совета молодых ученых А. Челпанова подготовлен к печати стенд 150×70 см «Молодые учёные ИСЗФ СО РАН: наука, общение, путешествия».

Идет реставрация старых стендов и планшетов.

Ремонтные работы в зале музея повлияли на количество проведенных экскурсий в течение года, но состоялось несколько внеплановых встреч с родственниками бывших сотрудников ИСЗФ — записи о впечатлениях оставлены в книге отзывов посетителей.

#### **4.11. Работа Совета научной молодежи Института**

Новый состав Совета научной молодежи был избран на Общем собрании научной молодежи Института 21.12.2021 г. В его состав вошли 10 человек, председатель — к.ф.-м.н. А.А. Челпанов.

В 2022 г. состоялось 11 заседаний, где обсуждались организация и проведение мероприятий, молодёжных семинаров, рассматривались кандидатуры для участия в конкурсах и грантах, проводились конкурсы на поддержку научных командировок молодых ученых ИСЗФ СО РАН и конкурсы поддержки научных публикаций в платных журналах.

Организовано ведение телеграмм-канала для информирования молодых ученых, аспирантов, магистрантов о предстоящих мероприятиях, конкурсах, новостях, размещения шаблонов документов и другой полезной информации.

Были проведены два молодежных семинара, на которых были представлены научные доклады молодых сотрудников Института и проведена лекция о наукометрии и основных базах научных публикаций.

За 2022 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.

Конференция школьников «Человек и космос», проводимая в ИСЗФ с 2010 г., выдвинута на конкурс ежегодной премии «За верность науке» за популяризацию научных достижений (организатор Министерство образования и науки при поддержке РАН и МГУ). Проект получил диплом финалиста в номинации за популяризацию космической отрасли.



Рис. 4.11.1. Торжественная церемония награждения премии «За верность науке». Москва, 24 ноября 2022 г.

К участию в областном конкурсе в сфере науки и техники 2022 г. рекомендована группа в составе А.В. Рубцова и О.С. Михайловой, которая вошла в число победителей конкурса.

В составы экспертных комиссий региональной конференции проектно-исследовательских работ «Наука. Технологии. Интеллект» вошли три представителя Совета научной молодежи.

Для участия в Конгрессе молодых ученых, проводимом Министерством науки и высшего образования Российской Федерации были предложены три человека, которые прошли конкурсный отбор и были приняты к участию. Участники представили Институт на конгрессе 1–3 декабря в г. Сочи, где они посетили полезные мероприятия школы РНФ, лекции и дискуссии, познакомились с коллегами из других научных учреждений страны.

На конкурс «Молодые ученые 2.0» фонда имени Комиссарова выдвинуты три кандидатуры из числа молодых сотрудников Института.

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

Выдвинуты кандидаты для участия в конкурсе молодых ученых – 2022 по присуждению премий имени выдающихся ученых Сибирского отделения РАН.

К участию в конкурсе на соискание Макариевской премии по естественным наукам выдвинуто два кандидата.

Были проведены две научно-популярных лекции в государственной универсальной научной библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского: «Наблюдение Солнца в радиодиапазоне» и «Как и зачем исследуют атмосферу Земли».

На сайте Совета опубликованы три статьи, посвященные работе и учебе научной молодежи Института: «Аспиранты участвуют в научных исследованиях» к Дню аспиранта (<http://snm.iszf.irk.ru/аспиранты-участвуют-в-научных-исслед/>), «Магистратура ИСЗФ» (<http://snm.iszf.irk.ru/магистратура-исзф/>) к Дню студента, «День женщин и девочек в науке» (<http://snm.iszf.irk.ru/день-женщин-и-девочек-в-науке/>).

На постоянной основе СНМ проводит рассылку информации по электронной почте о новых конкурсах на получение грантов, стипендий и премий для молодых ученых. Регулярно рассылается информация о проводимых научных российских и международных конференциях и других мероприятиях.

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 2022 г. СНИМ поддержал 8 командировок молодых сотрудников Института.

СНИМ участвовал в организации ежегодного поощрения лучших аспирантов по итогам годовой аттестации. СНИМ ежегодно проводит конкурс премий аспирантов, основная задача которого состоит в повышении качества работы аспирантов.

СНИМ участвует в организации досуга молодых ученых Института: были проведены вечера настольных игр и организован поход выходного дня.

#### **4.12. Проведение научных мероприятий**

15 апреля 2022 г. в Институте прошла XI Межрегиональная научная конференция школьников «Человек и космос», приуроченная к Дню космонавтики и посвященная 300-летию Российской академии наук. Для участников конференция проходила в удаленном формате с использованием видеосвязи. Организатором выступил ИСЗФ СО РАН при участии Иркутского государственного университета (ИГУ) и 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. В финальном устном этапе приняли участие учащиеся 7–11 классов (21 чел.) из Иркутска, Ангарска, Шелехова, Усть-Илимска, Нижнеудинска, а также из Баяндаевского, Тайшетского, Усольского районов. В подготовке и проведении конференции принимали участие 9 сотрудников Института. Участники, занявшие призовые места, были награждены книгами. Сотрудник Института к.ф.-м.н. Андрей Челпанов прочитал лекцию «Солнце: как и зачем его изучают».

С 4 по 8 июля 2022 г. в очном и дистанционном форматах прошел XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Организаторами были Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Институт динамики геосфер им. акад. М.А. Садовского РАН и Институт солнечно-земной физики СО РАН. В рамках симпозиума работало пять конференций:

##### *А. Молекулярная спектроскопия и распространение излучения в атмосфере и океане*

- Молекулярная спектроскопия атмосферных газов.
- Поглощение радиации в атмосфере и океане.
- Радиационные процессы и проблемы климата.
- Модели и базы данных для задач оптики и физики атмосферы.
- Распространение волн в случайно-неоднородных средах.
- Адаптивная оптика.
- Нелинейные эффекты при распространении волн в атмосфере и водных средах.
- Многократное рассеяние.
- Оптическая связь.
- Перенос и обработка изображений.
- Прикладные вопросы применения оптических систем и лазеров.

##### *В. Исследование атмосферы оптическими методами*

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

### *С. Исследование океана оптическими методами*

- Биооптические характеристики морской воды (растворенное органическое вещество, хлорофилл, взвесь и др.).
- Приборы для измерения гидрооптических характеристик и свойств взвеси.
- Подводные световые поля.
- Дистанционное зондирование, включая лидары и спутниковые сканеры цвета.
- Региональные биооптические алгоритмы.
- Валидация данных дистанционного зондирования океана из космоса.
- Мониторинг изменчивости биооптических характеристик морской воды под влиянием климата и антропогенного воздействия.

### *Д. Физика тропосферы*

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

### *Е. Физика средней и верхней атмосферы*

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

С 5 по 10 сентября 2022 г. ИСЗФ СО РАН совместно с Иркутским государственным университетом, физическим факультетом Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ), Российским новым университетом (РосНОУ) проводит ставшую традиционной Международную Байкальскую молодежную научную школу по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде» и в ее рамках – XVII Конференцию молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» (БШФФ-2022). Мероприятие посвящено 300-летию Российской академии наук.

БШФФ-2022 была посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям 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 вопросами являлись вопросы космической погоды: воздействие Солнца на межпланетную среду и осваиваемый человеком ближний космос, включая вопросы влияния космической погоды на работу инженерных систем, систем связи, навигации, радиолокации.

В соответствии с обозначенной тематикой для чтения лекций на БШФФ-2022 были приглашены следующие ученые: Агапов В.М. (Москва, АО «Астрономический научный центр»), д.ф.-м.н. Грач С.М. (Нижний Новгород, ННГУ им. Н.И. Лобачевского), чл.-корр. РАН Коновалов С.К. (Севастополь, МГИ РАН), д.ф.-м.н. Крюковский А.С. (Москва, АНО ВО РосНОУ), д.ф.-м.н. Куличков С.Н. (Москва, ИФА им. А.М. Обухова РАН), к.г.н. Латышева И.В. (Иркутск, ИГУ), академик РАН Мареев Е.А. (Нижний Новгород, ИПФ РАН),

д.ф.-м.н. Мингалиев М.Г. (Нижний Архыз, САО РАН), к.ф.-м.н. Растягаев Д.В. (Москва, АНО ВО РосНОУ), к.ф.-м.н. Шиндин А.В. (Нижний Новгород, ННГУ им. Н.И. Лобачевского).

Во время проведения круглого стола обсуждались итоги интенсивов, которые проводились в рамках БШФФ-2022 с 29 августа по 4 сентября на Радаре некогерентного рассеяния в Обсерватории радиофизической диагностики атмосферы и Комплексе оптических инструментов в Геофизической обсерватории под руководством к.ф.-м.н. Васильева Р.В. и к.ф.-м.н. Лебедева В.П.

Во время выездного заседания в Геофизическую обсерваторию (п. Торы), участники БШФФ-2022 ознакомились с введенным в эксплуатацию комплексом «Оптические инструменты» Национального гелиогеофизическим комплекса РАН, а также с другими радиофизическими инструментами обсерватории. Лекцию прочитал заведующий лабораторией физики нижней и средней атмосферы к.ф.-м.н. Васильев Р.В. (ИСЗФ СО РАН).

В работе БШФФ-2022 приняли участие специалисты из 18 городов и 36 организаций Российской Федерации. В 2022 г. оргкомитет получил рекордное по сравнению с предыдущими годами количество заявок на участие от молодых ученых России и зарубежья. В общей сложности на БШФФ-2022 и XVII Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом» было заслушано 10 пленарных докладов (в рамках БШФФ-2022), 76 стендовых и 65 устных докладов, а также проведен круглый стол.

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 XVII Конференции молодых ученых было утверждено экспертное жюри в составе 14 человек под руководством к.ф.-м.н. Климушкина Д.Ю. 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:

Кропотина Ю.А. (Санкт-Петербург, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПбПУ) за доклад «Моделирование влияния вращательных разрывов в солнечном ветре на ускорение ионов головной ударной волной Земли» (Ю.А. Кропотина, А.М. Быков) — 1 место;

Сецко П.В. (Апатиты, ПГИ, ЦЭС КНЦ РАН) за доклад «Моделирование параметров тонких токовых слоев в ближнем хвосте магнитосфер Земли и Юпитера» (П.В. Сецко, О.В. Мингалев, А.В. Артемьев, М.Н. Мельник) и Михайлова О.С. (Иркутск, ИСЗФ СО РАН) за доклад «Генерация УНЧ-волны электронами: исследование по наблюдениям зонда Van Allen Probe A» (О.С. Михайлова, Е.Е. Смотровая, П.Н. Магер) — 2 место;

Беккер С.З. (Москва, ИДГ РАН) за доклад «Моделирование отклика нижней ионосферы на рентгеновские вспышки 6 сентября 2017 года», Курдяева Ю.А. (Калининград, КФ ИЗМИРАН, БФУ им. И.Канта; Москва, ИФА РАН) за доклад «Влияние фонового ветра на волновые возмущения в верхней атмосфере» (Ю.А. Курдяева, И.В. Карпов, С.П. Кшевецкий) и Рубцов А.В. (Иркутск, ИСЗФ СО РАН; Nagoya, Japan, ISEE NagoyaU) за доклад «Влияние плазмосферы на пространственное распределение УНЧ-волн в магнитосфере Земли» (А.В. Рубцов, М. Nosé) — 3 место.

Победители в секции стендовых докладов:

Леденцов Л.С. (Москва, ГАИШ МГУ) за доклад «Тепловой триггер солнечных вспышек» — 1 место;

Смотровая Е.Е. (Иркутск, ИСЗФ СО РАН) за доклад «Метод диагностики проводимости ионосферы с помощью наблюдений магнитосферных УНЧ-волн» (Е.Е. Смотровая, П.Н. Магер, Д.Ю. Климушкин, О.С. Михайлова). — 2 место;

Капустин В.Э. (Иркутск, ИСЗФ СО РАН) за доклад «Сравнение ионосферных распределений продольных токов и полярных сияний по данным техники инверсии магнито-

грамм и IMAGE FUV для суббури 27 августа 2001 г.» (В.Э. Капустин, С.Б. Лунюшкин, В.В. Мишин, Ю.В. Пенских) — 3 место.

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 23 по 25 ноября 2022 г. в очном и дистанционном форматах прошла V Всероссийская научно-практическая конференция «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России». Организаторами были географический факультет Иркутского государственного университета совместно с НПЦ «Мэп Мейкер», ФГБУ «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» и Институт солнечно-земной физики СО РАН.

Целью конференции являлось обсуждение основных результатов гидрометеорологических исследований, тенденций и направлений развития метеорологии, гидрологии и климатологии, численных методов прогнозов, геоинформационных систем, автоматизированных и дистанционных методов исследований в гидрометеорологии, современных проблем подготовки кадров для подразделений Росгидромета.

В конференции приняли участие более 140 участников из Иркутска, Москвы и Московской области, Санкт-Петербурга, Якутска, Хабаровска, Барнаула, Ростова-на-Дону, Томска и других городов, а также коллеги из Казахстана и Беларуси. Участники представили более семидесяти докладов, посвященных моделированию гидрометеорологических процессов, современным методам измерения в гидрометеорологии, особо опасным гидрометеорологическим явлениям, проблемам подготовки кадров гидрологов и метеорологов, изучению колебаний климата и оценке состояния водных объектов и т. д. В конференции принимали участие сотрудники научных и научно-исследовательских институтов, ВУЗов, производственных объединений, сети Росгидромета, а также аспиранты и студенты.

Конференция проводилась по следующим научным направлениям:

- Погода и климат. Мониторинг и прогнозирование.
- Мониторинг, моделирование и прогнозирование состояния водных объектов.
- Опасные гидрометеорологические явления и процессы.
- Региональные особенности атмосферных процессов.
- Влияние климатических изменений на трансформацию природных и социально-экономических условий.
- Современные информационные технологии в гидрометеорологии.
- Современные методы и средства гидрометеорологических наблюдений.
- Актуальные проблемы подготовки кадров в сфере гидрометеорологии.

В рамках конференции проведен конкурс на лучший устный доклад для молодых ученых, победителями и призерами которого стали:

Землянкова А.А. (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) за доклад «Научный полигон Анмангындинская наледь: комплексный подход изучения процессов водообмена» — 1 место;

Холодов Е.И. (Дальневосточный центр ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», Хабаровск) за доклад «Возможности геоинформационной системы «Арктика-М» для решения задач оперативной метеорологии» и Абрамов Д.В. (Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург) за доклад «К вопросу о применении глобальных источников информации в гидрологическом моделировании с помощью методов машинного обучения» — 2 место;

Ушкалов А.А. (Иркутский государственный университет, Иркутск) за доклад «К вопросу о распределении стока в устьевых системах псевдodelьт западного побережья озера Байкал» и Ладохина Е.М. (Гидрометцентр РФ, Москва) за доклад «Воспроизведение региональных особенностей атмосферных процессов в регионе Санкт-Петербурга с учетом реального распределения типов урбанизированной поверхности» — 3 место.

#### 4.13. Участие в выставках

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

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

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

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

#### 4.14. Участие в научных мероприятиях

В 2022 г. сотрудники Института участвовали в следующих научных мероприятиях.

##### 4.14.1. Российские:

1. 17-я ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе». ИКИ РАН, Москва, 7–11 февраля 2022 г.
2. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Околосолнечная астрономия – 2022». Москва, 18–21 апреля 2022 г.
3. «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century». ИНЦ СО РАН, Иркутск, 19 мая 2022 г.
4. Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения – 2022». САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022 г.
5. Пленум Федерального учебно-методического объединения. Москва, МФТИ 23–28 мая 2022 г.
6. VII Всероссийская научная конференция «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды», посвященная 310-й годовщине со дня создания Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Санкт-Петербург, 24–26 мая 2022 г.
7. XXVI научная конференция по радиофизике, посвященная 120-летию М.Т. Греховой. Нижний Новгород, ННГУ, 12–27 мая 2022 г.
8. Вторая региональная летняя научная школа молодых ученых-космофизиков, посвященная 50-летию радиофизических наблюдений на полигоне «Ойбенкель». Якутск, 4–5 августа 2022 г.
9. Конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2022». КрАО, 22–26 августа 2022 г.
10. Всероссийская радиоастрономическая конференция «Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии» (ВРК-2022). Санкт-Петербург, 19–23 сентября 2022 г.
11. 14-я ежегодная школа-конференция «Проблемы геокосмоса». Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.
12. XXVI Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика». Санкт-Петербург, Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, 3–7 октября 2022 г.
13. I Всероссийская научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Гидрометеорологическое (метеорологическое) и геофизическое обеспечение». Краснодарский край, Анапа, 14–15 ноября 2022 г.

14. Всероссийская конференция с международным участием, посвященная памяти академика А.М. Обухова «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». Москва, ИФА им. А.М. Обухова РАН, 22–24 ноября 2022 г.

#### 4.14.2. Международные:

1. ISSI Workshop “Bridging New X-ray Observations and Advanced Models of Flare Variability: A Key to Understanding the Fundamentals of Flare Energy Release”, 7–11 February 2022.

2. 45th Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena”. Апатиты, 14–18 марта 2022.

3. 14 международная конференция «Школа лекторов планетариев». Калуга, 1–4 апреля 2022 г.

4. Международная научная конференция «Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества». Россия, Иркутск, 6–9 апреля 2022 г.

5. PhotonIcs and Electromagnetics Research Symposium (PIERS-2022). China, Hangzhou, 25–29 April 2022, онлайн.

6. The 3rd URSI Atlantic / Asia-Pacific Radio Science Meeting – 2022, 29 мая – 3 июня 2022 г., онлайн.

7. The 14th Workshop «Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere». Болгария, Приморско, 6–10 июня 2022 г.

8. Workshop «Solar and Stellar Dynamos: A New Era». Швейцария, Берн, 13–17 июня 2022 г.

9. Шестая Международная конференция «Триггерные эффекты в геосистемах». Москва, ИДГ РАН, 21–24 июня 2022 г.

10. XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Россия, Томск, 4–8 июля 2022 г.

11. XV Международная Школа молодых ученых им. А.Г. Колесника «Физика окружающей среды». Россия, Томск, 5–9 июля 2022 г.

12. National Astronomy Meeting – 2022, 11–15 июля 2022 г., онлайн.

13. COSPAR-2022, Греция, Афины, 16–24 июля 2022 г.

14. The 5th International Electronic Conference on Atmospheric Sciences, 16–31 июля 2022, онлайн.

15. Modeling Space Weather and Total Solar Irradiance Over the Past Century, Bern, 2–5 August 2022.

16. Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике «Физические процессы в космосе и околоземной среде». XVII Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Россия, Иркутск, 5–10 сентября 2022 г.

17. The 8th Solar Orbiter Workshop. Belfast Northern Ireland, 12–15 September 2022, онлайн.

18. XIV Школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса – 2022», Россия, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.

19. Workshop «Advanced Three-Dimensional Modeling of the Magnetic Field in Active Regions on the Sun». Швейцария, Берн, 3–7 октября 2022 г.

20. Международная конференция «Марчуковские научные чтения – 2022». Минисимпозиум «Применение информационных систем к решению задач комплексного мониторинга опасных геологических процессов». Новосибирск, 3–7 октября 2022 г.

21. 20-я международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». Россия, Москва, 14–18 ноября 2022 г.

22. VIII Микроволновая конференция – 2022 (IEEE 8th All-Russian Microwave Conference). Москва, ИПЭ им. В.А. Котельникова РАН, 23–25 ноября 2022 г.

23. Virtual International Conference “Alive Universe — from Planets to Galaxies”. Shamakhy, Y. Mammadaliyev Settlement, ShAO, Azerbaijan. October 12–14, 2022.

## 5. Публикации

### 5.1. Российские издания

1. Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Мышьяков И.И. Когерентное микроволновое излучение как индикатор нетеплового энерговыделения в рентгеновской корональной точке // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 4–11. DOI: 10.12737/szf-82202201.
2. Белюченко К.В., Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г. Связь возмущений полного электронного содержания с АЕ-индексом геомагнитной активности во время геомагнитной бури в марте 2015 г. // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 41–48. DOI: 10.12737/szf-83202206.
3. Бернгардт О.И. Первый сравнительный анализ метеорного эха и спорадического рассеяния, идентифицированных самообучившейся нейронной сетью по данным радаров ЕКВ и MAGW ИСЗФ СО РАН // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 66–76. DOI: 10.12737/szf-84202206.
4. Боровик А.В., Жданов А.А. Малые солнечные вспышки и локальные линии раздела полярности продольного магнитного поля активной области // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 1. С. 19–23. DOI: 10.12737/szf-81202202.
5. Григорьев В.М., Ермакова, Л.В., Хлыстова А.И. Появление активных областей в период завершения 24-го и начала 25-го циклов активности // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 29–37. DOI: 10.12737/szf-84202202.
6. Гульельми А., Клайн Б.И., Потапов А.С. Волны Альфвена: к 80-летию открытия // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 75–77. DOI: 10.12737/szf-82202210.
7. Дмитриенко И.С. Возмущения второго порядка в альфвеновских волнах в плазме с давлением // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 34–40. DOI: 10.12737/szf-82202205.
8. Добрынина А.А., Перевалова Н.П., Саньков В.А., Едемский И.К., Лухнев А.В. Анализ сейсмических и ионосферных эффектов Кударинского землетрясения 9 декабря 2020 г. // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13, № 2. 5 с. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0622.
9. Егоров Я.И., Файнштейн В.Г. Кинематические характеристики КВМ типа stealth в трехмерном пространстве // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 14–23. DOI: 10.12737/szf-83202202.
10. Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Зимовец И.В. О возможном различии в формировании корональных выбросов массы двух типов // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 12–22. DOI: 10.12737/szf-82202202.
11. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н., Руденко Г.В. Исследование магнитных свойств тени солнечных пятен // Астрон. журн. 2022. Т. 99, № 2. С. 100–150. DOI: 10.31857/S0004629922030069.
12. Иванов К.И., Комарова Е.С., Язев С.А. Комплексное исследование болида потока Персеиды по данным системы базисного видеомониторинга SKYLINE // Астрон. журн. 2022. Т. 99, № 6. С. 520–528. DOI: 10.31857/S0004629922070039.
13. Кичигин Г.Н., Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Условия прихода солнечных энергичных протонов на Землю после мощных вспышек на Солнце // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 24–28. DOI: 10.12737/szf-83202203.
14. Клименко М.В., Клименко В.В., Ясюкевич А.С., Ратовский К.Г. Модельная оценка высоты нижнего предела интегрирования при получении отношения концентраций атомарного кислорода и молекулярного азота,  $N(O)/N(N_2)$ , по методике наблюдений TIMED GUVI // Химическая физика. 2022. Т. 41, № 5. С. 771–783. DOI: 10.31857/S0207401X22050077.
15. Ключевский А.В., Михалев А.В., Медведев А.В., Демьянович В.М. Излучение верхней атмосферы Земли в эмиссии [OI] 557.7 нм в связи с Хубсугульским землетрясением

- 11 января 2021 года (Юго-западный фланг Байкальской рифтовой зоны) // ДАН. Науки и Земле. 2022. Т. 504, № 2. С. 195–199. DOI: 10.31857/S2686739722060081.
16. Ковадло П.Г., Быков А.В., Шихов А.Н. О роли ледников в процессах потепления климата // Оптика атмосферы и океана. 2022. Т. 35, № 3. С. 241–245. DOI: 10.15372/AOO20220309.
17. Куприянова Е.Г., Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Колотков Д.Ю., Кузнецов А.А. О микроволновом отклике на бегущую симметричную быструю магнитозвуковую волну // Изв. вузов. Радиофизика. 2022. Т. 65, № 4. С. 287–300. DOI: 10.52452/00213462\_2022\_65\_04\_287.
18. Куркин В.И., Полех Н.М., Золотухина Н.А. Влияние слабых магнитных бурь на характеристики распространения КВ-радиоволн // Геомагнетизм и аэрномия. 2022. Т. 62, № 2. С. 245–256. DOI: 10.31857/S0016794022020110.
19. Кушнарченко Г.П., Кузнецова Г.М., Яковлева О.Е. Дневная электронная плотность на высотах ионосферного слоя F1 во время геомагнитных возмущений на станции Иркутск // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 1. С. 58–61. DOI: 10.12737/szf-81202207.
20. Луковникова А.А., Сдобнов В.Е. Питч-угловая анизотропия и дифференциальные жесткостные спектры космических лучей во время GLE 2 и 6 мая 1998 г. // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 29–33. DOI: 10.12737/szf-82202204.
21. Марчук Р.А., Потапов А.С., Мишин В.В. Синхронные глобально наблюдаемые ультракороткопериодные импульсы // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 52–60. DOI: 10.12737/szf-82202207.
22. Михайлова О.С., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Современное состояние теории УНЧ-пульсаций диапазона Pc1 в плазме магнитосферы с тяжелыми ионами: обзор // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 1. С. 3–18. DOI: 10.12737/szf-81202201.
23. Михалев А.В., Белецкий А.Б., Лебедев В.П., Сыренова Т.Е., Хахинов В.В. Оптические эффекты полета ракеты-носителя “ПРОТОН-М” со спутником ЯМАЛ-601 в дальней от места старта зоне // Космич. исслед. 2022. Т. 60, № 2. С. 125–133. DOI: 10.31857/S0023420622020054.
24. Михалев А.В. Цветовые и спектральные характеристики долгоживущего метеорного следа, образованного Тункинским болидом // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 62–67. DOI: 10.12737/szf-83202209.
25. Михалев А.В., Белецкий А.Б., Лебедев В.П., Хахинов В.В. Оптические эффекты работы двигателей космических аппаратов на высотах нижней термосферы // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 77–82. DOI: 10.12737/szf-84202207.
26. Мишин В.В., Клибанова Ю.Ю., Медведев А.В., Михалев А.В., Пенских Ю.В., Марчук Р.А. Всплески геомагнитных пульсаций и излучения ночной атмосферы, вызванных изменениями давления солнечного ветра в ходе магнитосферной бури // ДАН. Науки и Земле. 2022. Т. 504, № 2. С. 189–194. DOI: 10.31857/S2686739722060123.
27. Мордвинов В.И., Зоркальцева О.С. Нормальные моды как причина крупномасштабных колебаний в тропосфере и стратосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58, № 2. С. 160–171. DOI: 10.31857/S0002351522020092.
28. Мотык И.Д., Кашапова Л.К. Исследование процессов охлаждения на фазе спада солнечных и звездных вспышек // Астрон. журн. 2022. Т. 99, № 11. С. 1008–1015. DOI: 10.31857/S0004629922100097.
29. Муратова Н.О., Федотова А.Ю., Шамсутдинова Ю.Н. Результаты совместных наблюдений на Солнечном спектрополяриметре метрового диапазона и ряде других инструментов // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 1. С. 24–33. DOI: 10.12737/szf-81202203.
30. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Цэгмэд Б., Хомутов С.Ю., Райта Т., Попов Г.В., Мочалов А.А., Пильгаев С.В., Рахматулин Р.А. О соответствии глобальной изолированной суббури статистической модели Мак-Феррона // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 2. С. 41–51. DOI: 10.12737/szf-82202206.
31. Пархомов В.А., Сафаргалеев В.В., Рахматулин Р.А., Казанцев Л.В. Q-всплески, генерируемые при контакте межпланетной ударной волны с магнитосферой // Известия Бай-

- кальского государственного университета. 2022. Т. 32, № 1. С. 170–180. DOI: 10.17150/2500-2759.2022.32(1).170-180.
32. Петрашук А.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Численный анализ пространственной структуры альфвеновских волн в плазме конечного давления в дипольной магнитосфере // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 4–13. DOI: 10.12737/szf-83202201.
33. Подлесный С.В., Девятова Е.В., Саункин А.В., Васильев Р.В. Сопоставление методов определения облачного покрова над Байкальской природной территорией в декабре 2020 г. // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 102–109. DOI: 10.12737/szf-84202210.
34. Поляков А.Р. Структура групп собственных частот в спектрах геомагнитных пульсаций ночной стороны магнитосферы // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 3. С. 49–53. DOI: 10.12737/szf-83202207.
35. Скоморовский В.И., Кушталъ Г.И., Токарева Л.С. Исландский шпат и разработка интерференционно-поляризационных фильтров (ИПФ) // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 1. С. 70–86. DOI: 10.12737/szf-81202209.
36. Сорокин А.Г., Добрынин В.А. О методике исследования инфразвуковых волн от гроз // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 1. С. 62–69. DOI: 10.12737/szf-81202208.
37. Татарников А.В., Белецкий А.Б., Зоркальцева О.С., Тащилин М.А., Щеглова Е.С., Яковлева И.П. Мониторинг лесных пожаров на Байкальской природной территории по данным ДЗЗ // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26, № 7. С. 68–71. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-7-68-71.
38. Толстикова М.В., Ойнац А.В., Артамонов М.Ф., Медведева И.В., Ратовский К.Г. Статистическая связь перемещающихся ионосферных возмущений с нейтральным ветром и возмущениями в стратосфере // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 83–94. DOI: 10.12737/szf-84202208.
39. Усков Г.С., Зазнобин И.А., Сазонов С.Ю., Семена А.Н., Гильфанов М.Р., Буренин Р.А., Еселевич М.В., Кривонос Р.А., Ляпин А.Р., Медведев П.С., Хорунжев Г.А., Сяняев Р.А. Новые активные ядра галактик, обнаруженные телескопами ART-XC и ЕРОЗИТА обсерватории СРГ в ходе рентгеновского обзора всего неба // Письма в АЖ. 2022. Т. 48, № 2. С. 95–118. DOI: 10.31857/S032001082202005X.
40. Хайкин В.Б., Шиховцев А.Ю., Шмагин В.Е., Лебедев М.К., Копылов Е.А., Лукин В.П., Ковадло П.Г. О проекте евразийских субмиллиметровых телескопов (ESMT) и возможности применения адаптивной оптики для улучшения качества субмм изображений // Журнал радиоэлектроники. 2022. № 7. 73 с. DOI: 10.30898/1684-1719.2022.7.9.
41. Челпанов М.А., Анфиногентов С.А., Костарев Д.В., Михайлова О.С., Рубцов А.В., Феденёв В.В., Челпанов А.А. Обзор и сравнение особенностей МГД-волн на Солнце и в магнитосфере Земли // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 3–28. DOI: 10.12737/szf-84202201.
42. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Хабитуев Д.С., Ратовский К.Г., Белинская А.Ю., Степанов А.Е., Бычков В.В., Григорьева С.А., Панченко В.А., Мелич Й. Исследование отклика среднеширотной ионосферы Северного полушария на магнитные бури в марте 2012 г. // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8, № 4. С. 46–56. DOI: 10.12737/szf-84202204.
43. Черниговская М.А., Шпынев Б.Г., Хабитуев Д.С. Отклик системы «ионосфера — термосфера» над регионом средних широт Евразии на геомагнитные бури в марте 2012 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 5. С. 303–315. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-303-315.
44. Чудаев С.О., Афанасьев Н.Т., Лукьянцев Д.С., Танаев А.Б. Диагностика флуктуаций групповой задержки высокочастотного сигнала в ионосферном канале связи // Техника радиосвязи. 2022. № 3 (54). С. 21–30.
45. Чурилов С.М. Безотражательное распространение внутренних волн в канале переменного сечения при наличии течения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58, № 3. С. 300–309. DOI: 10.31857/S000235152203004X.

46. Шиховцев А.Ю., Хайкин В.Б., Миронов А.П., Ковадло П.Г. Статистический анализ содержания водяного пара на Северном Кавказе и в Крыму // *Оптика атмосферы и океана*. 2022. Т. 35, № 1. С. 67–73. DOI: 10.15372/AOO20220110.
47. Шиховцев А.Ю. Метод определения характеристик оптической турбулентности по лучу зрения астрономического телескопа // *Оптика атмосферы и океана*. 2022. Т. 35, № 1. С. 74–80. DOI: 10.15372/AOO20220111.
48. Шиховцев А.Ю., Киселев А.В., Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Русских И.В., Томин В.Е. Формирование искажений волнового фронта на разных высотах в атмосфере. Измерения, выполненные с помощью датчика Шэка — Гартмана // *Солнечно-земная физика*. 2022. Т. 8, № 2. С. 23–28. DOI: 10.12737/szf-82202203.
49. Язев С.А., Томозов В.М., Исаева Е.С. Комплексы активности и корональные дыры на Солнце: феноменология связи // *Астрон. журн*. 2022. Т. 99, № 11. С. 1016–1028. DOI: 10.31857/S0004629922100139.
50. Язев С.А. Иван Наумович Язев // *Прогулки по старому Иркутску*. Иркутск: Типография «На Чехова», 2022. № 1 (9). С. 115–127.
51. Ясюкевич А.С., Веснин А.М. Сравнительный анализ возмущенности в среднеширотной стратосфере и ионосфере в зимние периоды // *Солнечно-земная физика*. 2022. Т. 8, № 2. С. 67–74. DOI: 10.12737/szf-82202209.
52. Ясюкевич Ю. В., Веснин А.М. Центр коллективного пользования «Солнечно-земная физика и контроль околоземного космического пространства» (ЦКП «АНГАРА») при геодинимических и тектонофизических исследованиях // *Геодинимика и тектонофизика*. 2022. Т. 13, № 2. 7 с. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0593.

## 5.2. Зарубежные издания (включая переводные)

1. Altyntsev A.T., Meshalkina N.S., Myshyakov I.I. Coherent microwave emission as an indicator of non-thermal energy release at a coronal X-ray point // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 3–9. DOI: 10.12737/stp-82202201.
2. Altyntsev A.T., Meshalkina N.S., Sych R.A., Kolotkov D. Double peak quasi-periodic pulsations in a circular-ribbon flare // *Astron. Astrophys.* 2022. Vol. 663. P. A149. DOI: 10.1051/0004-6361/202243144.
3. Anfinogentov S., Antolin P., Inglis A.R., Kolotkov D., Kupriyanova E.G., McLaughlin J.A., Nistico G., Pascoe D.J., Prasad S.K., Yuan D. Novel data analysis techniques in coronal seismology // *Space Sci. Rev.* 2022. Vol. 218, no. 3. P. 9. DOI: 10.1007/s11214-021-00869-w.
4. Astafyeva E.I., Yasyukevich Yu.V., Maletckii B.M., Oinats A.V., Vesnin A.M., Yasyukevich A., Syrovatskii S.V., Guendouz N. Ionospheric disturbances and irregularities during the 25–26 August 2018 geomagnetic storm // *J. Geophys. Res.* 2022. Vol. 127, no. 1. P. e2021JA029843. DOI: 10.1029/2021JA029843.
5. Beletsky A.B., Tkachev I., Nasyrov I., Grach S., Kogogin D.A., Shindin A., Vasilyev R.V. Some results of photometric measurements of ionospheric artificial airglow at 557.7 and 630 nm lines of atomic oxygen caused by high-frequency radio emission of the SURA facility during development of sporadic E layer // *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, no. 11. P. 1794. DOI: 10.3390/atmos13111794.
6. Belyuchenko K.V., Klimenko M., Klimenko V., Ratovsky K.G. Connection of total electron content disturbances with AE index of geomagnetic activity during geomagnetic storm in March 2015 // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 3. P. 38–45. DOI: 10.12737/stp-83202206.
7. Berngardt O.I., Kusonsky O.A., Poddelsky A.I., Oinats A.V. Self-trained artificial neural network for physical classification of ionospheric radar data // *Adv. Space Res.* 2022. Vol. 70, no. 10. P. 2905–2919. DOI: 10.1016/j.asr.2022.07.054.
8. Berngardt O.I., St.-Maurice J.P., Ruohoniemi J.M., Marchaudon A. Seasonal and diurnal dynamics of radio noise for 8–20 MHz poleward-oriented mid-latitude radars // *Radio Sci.* 2022. Vol. 57, no. 9. e2021RS007338. DOI: 10.1029/2021RS007338.

9. Bergardt O.I. The first comparative analysis of meteor echo and sporadic scattering identified by a self-learned neural network in EKB and MAGW ISTP SB RAS radar data // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 4. P. 63–72. DOI: 10.12737/stp-84202206.
10. Borovik A.V., Zhdanov A. Small solar flares and local polarity inversion lines of the longitudinal magnetic field of the active region // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 1. P. 19–23. DOI: 10.12737/STP-81202202.
11. Calabria A.A., Anoruo C., Shah M., Amory-Mazaudier C., Yasyukevich Yu.V., Owolabi C., Jin S. Low-latitude ionospheric responses and coupling to the February 2014 multi-phase geomagnetic storm from GNSS, magnetometers, and space weather data // *Atmosphere.* 2022. Vol. 13, no. 4. P. 518. DOI:10.3390/atmos13040518.
12. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Oscillation dynamics in short-lived facular regions during their lifetime // *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, no. 5. P. 52. DOI: 10.1007/s11207-022-01988-5.
13. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Problems in observation and identification of torsional waves in the lower solar atmosphere // *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, no. 12. P. 154. DOI: 10.1007/s11207-022-02092-4.
14. Chelpanov M., Anfinogentov S., Kostarev D.V., Mikhailova O.S., Rubtsov A.V., Fedenev V.V., Chelpanov A.A. Review and comparison of MHD wave characteristics at the Sun and in Earth's magnetosphere // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 4. P. 3–27. DOI: 10.12737/stp-84202201.
15. Chernigovskaya M.A., Shpynev B.G., Khabituev D.S., Ratovsky K.G., Belinskaya A.Yu., Stepanov A.E., Bychkov V.V., Grigorieva S.A., Panchenko V.A., Mielich J. Studying the response of the mid-latitude ionosphere of the Northern Hemisphere to magnetic storms in March 2012 // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 4. P. 44–54. DOI: 10.12737/stp-84202204.
16. Churilov S.M., Stepanyants Y. Reflectionless wave propagation on shallow water with variable bathymetry and current // *J. Fluid Mechanics.* 2022. Vol. 939. P. A15. DOI: 10.1017/jfm.2021.935.
17. Churilov S.M., Stepanyants Y. Reflectionless wave propagation on shallow water with variable bathymetry and current. Part 2 // *J. Fluid Mechanics.* 2022. Vol. 939. P. A15. DOI: 10.1017/jfm.2022.208.
18. Churilov S.M. Reflectionless internal-wave propagation in a channel with variable cross section and current // *Izvestiya, Atmospheric and Ocean Phys.* 2022. Vol. 58, no. 3. P. 254–262. DOI 10.1134/S0001433822030045.
19. Demidov M.L. On the role of empirical boundary conditions in space weather prediction results // *Proc. Science.* 2022. Vol. 425: The Multifaceted Universe: Theory and Observations – 2022 (MUTO2022) – Astronomical Instruments and Methods. DOI: 10.22323/1.425.004.
20. Devyatova E.V., Kochugova E., Cydenzapov M. Comparison of Selyaninov's Hydrothermal coefficient (aridity criterion) over Buryatia, Russia, in the summer period from 1979 to 2019 according to meteorological stations and ECMWF ERA5 // *Environmental Sci. Proc.* 2022. Vol. 19, no. 1. P. 55. DOI: 10.3390/ecas2022-12805.
21. Devyatova E.V., Podlesnyi S.V., Vasilyev R.V. Comparing methods to estimate cloud at the Geophysical Observatory of the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS (Tory, Republic of Buryatia, Russia) in December 2020 // *Environmental Sci. Proc.* 2022. Vol. 19, no. 1. P. 60. DOI: 10.3390/ecas2022-12852.
22. Dmitrienko I.S. Second-order perturbations in Alfvén waves in finite pressure plasma // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 3–9. DOI: 10.12737/stp-82202205.
23. Dobrynina A.A., Perevalova N.P., Sankov A., Edemsky I.K., Lukhnev A.V. Analysis of the seismic and ionospheric effects of the Kudarinsky earthquake on December 9, 2020 // *Geodynamics and Tectonophysics.* 2022. Vol. 13, no. 3. P. 0622. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0622.

24. Edemskiy I.K., Yasyukevich Yu.V. Auroral oval boundary dynamics on the nature of geomagnetic storm // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, no. 21. P. 5486. DOI: 10.3390/rs14215486.
25. Egorov Ya.I., Fainshtein V.G. Kinematic characteristics of stealth CME in three-dimensional space // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol.8, no.3. P. 13-21. - DOI: 10.12737/stp-83202202.
26. Eselevich V.G., Eselevich M.V., Zimovets I.V. Possible difference in the formation of coronal mass ejections of two types // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 10-19. - DOI: 10.12737/stp-82202202.
27. Fleming S.W., Million C., Osten R., Kolotkov D., Brasseur C.E. New Time-resolved, Multi-band Flares in the GJ 65 System with gPhoton // *Astrophys. J.* 2022. Vol. 928, no. 1. P. 8. DOI: 10.3847/1538-4357/ac5037.
28. Fu L., Zhu Z., Yuan D., Wang J., Feng S., Anfinogentov S. Inter-correlation between sunspot oscillations and their internal structures // *Res. in Astronomy and Astrophys.* 2022. Vol. 22, no. 11. P. 115009. DOI: 10.1088/1674-4527/ac91bd.
29. Grechnev V.V., Kiselev V., Uralov A.M. Reconciling observational challenges to the impulsive-piston shock-excitation scenario. I. Kinematic challenges // *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, no. 8. P. 106. DOI: 10.1007/s11207-022-02041-1.
30. Grechnev V.V., Kiselev V., Uralov A.M. Reconciling observational challenges to the impulsive-piston shock-excitation scenario. II. Shock waves produced in CME-less events with a null-point topology // *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, no. 9. P. 123. DOI: 10.1007/s11207-022-02061-x.
31. Grigoryev V.M., Ermakova L.V., Khlystova A.I. Appearance of active regions at the end of solar cycle 24 and at the beginning of cycle 25 // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 4. P. 28–35. DOI: 10.12737/stp-84202202.
32. Guglielmi A., Klain B.I., Potapov A.S. Alfvén waves: To the 80th anniversary of discovery // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 69–70. DOI: 10.12737/stp-82202210.
33. Hou P., Zhang B., Yasyukevich Yu.V., Liu T., Zha J. Multi-frequency phase-only PPP-RTK model applied to BeiDou data // *GPS Solutions*. 2022. Vol. 26, no. 3. P. 76. DOI 10.1007/s10291-022-01263-x.
34. Ivanov K.I., Komarova E., Yazev S.A. Comprehensive study of the perseid stream bolide using the data of the SkyLine baseline video monitoring system // *Astron. Rep.* 2022. Vol. 66, no. 6. P. 513–520 . DOI: 10.1134/S1063772922070034.
35. Ivanova V.A., Podlesnyi A.V., Poddelsky A.I. Large-scale travelling ionospheric disturbances registered using oblique incidence sounding during magnetic storms in 2006-2011 // *Proc. SPIE: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Phys.* 2022. Vol. 12341, # 123417M. DOI: 10.1117/12.2645038.
36. Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Empirical orthogonal functions in heat contents of the World ocean energetically active zones // *Proc. SPIE: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Phys.* 2022. Vol. 12341. # 123415W. DOI: 10.1117/12.2644682.
37. Kashapova L.K., Kolotkov D., Kupriyanova E.G., Kudriavtseva A., Tan C., Reid H.A.S. Common origin of quasi-periodic pulsations in microwave and decimetric solar radio bursts // *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, no. 12. P. 152. DOI: 10.1007/s11207-022-02088-0.
38. Keel W.C., Moiseev A., Kozlova D.V., Ikhsanova A.I., Oparin D.V., Uklein R.I., Smirnova A.A., Eselevich M.V. The TELPERION survey for distant [O III] clouds around luminous and hibernating AGN // *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 2022. Vol. 510, no. 3. P. 4608–4625. DOI: 10.1093/mnras/stab3656.
39. Kitchatinov L.L. Inferring quadrupolar dynamo mode from sunspot statistics // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2022. Vol. 62, no. 7. P. 817–822. DOI: 10.1134/S0016793222070143.

40. Kitchatinov L.L. The Dependence of Stellar Activity Cycles on Effective Temperature // *Res. in Astronomy and Astrophys.* 2022. Vol. 22, no. 12. P. 125006. DOI: 10.1088/1674-4527/ac9780.
41. Kichigin G.N., Sdobnov V.E., Kravtsova M. Conditions for arrival of solar energetic protons in Earth after major solar flares // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 3. P. 22–26. DOI 10.12737/stp-83202203.
42. Kiselev V., Meshalkina N.S., Grechnev V.V. Relationships between the spectra of near-earth proton enhancements, hard X-ray bursts, and CME speeds // *Solar Phys.* 2022. Vol. 297, no. 5. P. 53. DOI: 10.1007/s11207-022-01986-7.
43. Klimenko M., Klimenko V.V., Yasyukevich A., Ratovsky K.G. Model estimate of the height of the lower limit of integration when obtaining the ratio of the concentrations of atomic oxygen and molecular nitrogen  $n(O)/n(N_2)$  according to the timed Guvi observation technique // *Russ. J. Physical Chemistry B.* 2022. Vol. 16, no. 3. P. 531–536. DOI: 10.1134/S1990793122030071.
44. Klyuchevskii A.V., Dem'yanovich V.M., Zuev F.L., Klyuchevskaya A.A., Kakourova A.A., Golovko A.A. Fractal dimension and area of seismicity in the Baikal rift system: Implications for modern geodynamics // *J. Geodynamics.* 2022. Vol. 149, no. 1. P. 101894. DOI: 10.1016/j.jog.2021.101894.
45. Klyuchevskii A.V., Mikhalev A.V., Medvedev A.V., Dem'yanovich V.M. The upper atmospheric radiation of the Earth in the [OI] 557.7 nm emission in connection with the January 11, 2021, Khövsgöl earthquake (southwestern flank of the Baikal rift zone) // *Doklady Earth Sci.* 2022. Vol. 504, no. 2. P. 395–398. DOI: 10.1134/S1028334X22060083.
46. Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu., Yazev S.A. The role of glaciers in the processes of climate warming // *Atmospheric and Oceanic Optics.* 2022. Vol. 35, no. 4. P. 434–438. DOI: 10.1134/S1024856022040091.
47. Kovadlo P.G., Shikhovtsev A.Yu., Kiselev A.V., Kolobov D.Y., Russkikh I.V., Lukin V.P., Shikhovtsev M.Yu. Estimating optical turbulence strength using measurements of wavefront distortions // *Proc. SPIE: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Phys.* 2022. Vol. 12341. # 123410D. DOI: 10.1117/12.2644408.
48. Kovadlo P.G., Lezhenin A.A. Generation of kinetic energy of the pulsating component of the wind speed in the atmospheric boundary layer // *Proc. SPIE: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Phys.* 2022. Vol. 12341. # 123415Q. DOI: 10.1117/12.2644558.
49. Kovalev I. I., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. A proposal to extend the spectrographic global survey method // *J. Atmosph. Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 235. P. 105887. DOI 10.1016/j.jastp.2022.105887.
50. Korobtsev I.V., Mishina M.N., Eselevich M.V. Photometrical and trajectory observations of near-Earth space objects at Sayan Solar Observatory of the ISTP SB RAS // *INASAN Sci. Rep.* 2022. Vol. 7, no. 1. P. 36–40. DOI: 10.51194/INASAN.2022.7.1.006.
51. Kupryakov Y.A., Gorshkov A.B., Kashapova L.K. Solar flare pulsation spectra // *Acta Astrophysica Taurica.* 2022. Vol. 3, no. 2. P. 17–21. <https://astrophysicatauricum.org/index.php/aat/article/view/43/34>.
52. Kupriyanova E.G., Kaltman T.I., Kuznetsov A.A. Modulation of the solar microwave emission by sausage oscillations // *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 2022. Vol. 516, no. 2. P. 2292–2299. DOI: 10.1093/mnras/stac2386.
53. Kurkin V.I., Polekh N.M., Zolotukhina N.A. Effect of weak magnetic storms on the propagation of HF radio waves // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2022. Vol. 62, no. 1/2. P. 104–115. DOI: 10.1134/S0016793222020116.
54. Kushnarenko G.P., Kuznetsova G. M., Yakovleva O.E. Daytime electron density at ionospheric F1-layer heights during geomagnetic storms (Irkutsk) // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 1. P. 58–61. DOI: 10.12737/STP-81202207.

55. Leonovich A.S., Zong Q.G., Kozlov D.A., Vlasov A.A. “Phase Portraits” of Alfvén Waves in Magnetospheric Plasma // *J. Geophys. Res.* 2022. Vol. 127, no. 6, e2022JA030432. DOI: 10.1029/2022JA030432.
56. Lesovoi S.V., Globa M.V., Gubin A.V., Altyntsev A.T. Microwave imaging spectroscopy of the solar corona // *Proc. of Science.* 2022. Vol. 425: The Multifaceted Universe: Theory and Observations – 2022 (MUTO2022) – Astronomical Instruments and Methods. DOI: 10.22323/1.425.0014.
57. Lukovnikova A.A., Sdobnov V.E. Pitch-angle anisotropy and differential rigidity spectra of cosmic rays during GLE on May 2 and 6, 1998 // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 26–30. DOI: 10.12737/stp-82202204.
58. Lysenko A., Ulanov M.V., Kuznetsov A.A., Fleishman G.D., Frederiks D., Kashapova L.K., Sokolova Z., Svinkin D., Tsvetkova A.E. KW-Sun: The konus-wind solar flare database in hard X-ray and soft gamma-ray ranges // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2022. Vol. 262, no. 11. P. 32. DOI: 10.3847/1538-4365/ac8b87.
59. Marchuk R., Potapov A.S., Mishin V.V. Synchronous globally observable ultrashort-period pulses // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 47–55. DOI: 10.12737/stp-82202207.
60. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V. Year-to-year changes in atmospheric and ionospheric variability in the 24th solar cycle // *Proc. SPIE: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Phys.* 2022. Vol. 12341. #123410H. DOI: 10.1117/12.2644623.
61. Medvedeva I.V., Tatarnikov A.V., Edemsky I.K., Saunkin A.V. Studying variations in atmospheric constituents over the Baikal natural territory from the long-term data of Aura MLS measurements // *Proc. SPIE : 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Phys.* 2022. Vol. 12341. # 123410P. DOI: 10.1117/12.2644834.
62. Mereminskiy I.A., Dodin A.V., Lutovinov A.A., Semena A.N., Arefiev V.A., Atapin K.E., Belinski A.A., Burenin R.A., Burlak M.V., Eselevich M.V., Fedotieva A.A., Gilfanov M.R. Peculiar X-ray transient SRGA J043520.9+552226/AT2019wey discovered with SRG/ART-XC // *Astron. Astrophys.* 2022. Vol. 661. P. A32. DOI 10.1051/0004-6361/202141410.
63. Mikhailova O.S., Klimushkin D., Mager P. The current state of the theory of PC1 range ULF pulsations in magnetospheric plasma with heavy ions: A review // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 1. P. 3–18. DOI: 10.12737/STP-81202201.
64. Mikhailova O.S., Smotrova E.E., Mager P. Resonant generation of an Alfvén wave by a substorm injected electron cloud: A Van Allen Probe case study // *Geophys. Res. Lett.* 2022. Vol. 49, no. 19, e2022GL100433. DOI:10.1029/2022GL100433.
65. Mikhalev A.V., Beletskii A.B., Lebedev V.P., Syrenova T., Khakhinov V.V. A flight of the Proton-M launch vehicle carrying the Yamal-601 satellite: optical effects observed in a distant zone of the launch site // *Cosmic Res.* 2022. Vol. 60, no. 2. P. 98–106. DOI: 10.1134/S0010952522020058.
66. Mikhalev A.V., Beletskii A.B., Lebedev V.P., Syrenova T., Khakhinov V.V. Erratum to: A flight of the Proton-M launch vehicle carrying the Yamal-601 satellite: optical effects observed in a distant zone of the launch site // *Cosmic Res.* 2022. Vol. 60, no. 2. P. 98–106. DOI: 10.1134/S0010952522020058); no. 3. P. 240. DOI: 10.1134/S0010952522130020.
67. Mikhalev A.V. Color and spectral characteristics of long-lived meteor trail formed by the Tunka bolide // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 3. P. 58–62. DOI: 10.12737/stp-83202209.
68. Mikhalev A.V., Beletsky A.B., Lebedev V.P., Khakhinov V.V. Optical effects of running spacecraft engines in the lower thermosphere // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 4. P. 73–77. DOI: 10.12737/stp-84202207.
69. Mishin V.V., Klibanova Y., Medvedev A.V., Mikhalev A.V., Pensikh Yu., Marchuk R. Bursts of geomagnetic pulsations and night atmosphere airglow caused by solar wind pressure

changes during a magnetospheric storm // *Doklady Earth Sci.* 2022. Vol. 504, no. 2. P. 390–394. DOI: 10.1134/S1028334X22060125.

70. Molodykh S.I., Karakhyan A.A. Spatial distribution of the World Ocean heat contents response to solar impact // *Proc. SPIE: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Phys.* 2022. Vol. 12341. # 1234178. DOI: 10.1117/12.2644686.

71. Mordvinov A.V., Karak B.B., Banerjee D., Golubeva E.M., Khlystova A.I., Zhukova A.V., Kumar P. Evolution of the Sun's activity and the poleward transport of remnant magnetic flux in cycles 21–24 // *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 2022. Vol. 510, no. 1. P. 1331–1339. DOI: 10.1093/mnras/stab3528.

72. Mordvinov V. I., Zorkaltseva O.S. Normal mode as a cause of large-scale variations in the troposphere and stratosphere // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Phys.* 2022. Vol. 58, no. 2. P. 140–149. DOI:10.1134/S0001433822020098.

73. Muratova N.O., Fedotova A., Shamsutdinova J.N. Results of joint observations with solar spectropolarimeter of meter range wavelengths and other instruments // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 1. P. 24–33. DOI: 10.12737/STP-81202203.

74. Nosov V.V., Lukin V.P., Kovadlo P.G., Nosov E.V., Torgaev A.V. Intermittency of Kolmogorov and coherent turbulence in the mountain atmospheric boundary layer (Review) // *Atmospheric and Oceanic Optics.* 2022. Vol. 35, no. 3. P. 266–287. DOI: 10.1134/S1024856022030113.

75. Parkhomov V.A., Eselevich V.G., Eselevich M.V., Tsegmed B., Khomutov S., Raita T., Popov G., Mochalov A.A., Pilgaev S.V., Rakhmatulin R.A. Correspondence of a global isolated substorm to the McPherron statistical model // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 37–46. DOI: 10.12737/stp-82202206.

76. Petrashchuk A.V., Mager P., Klimushkin D. Numerical analysis of the spatial structure of Alfvén waves in a finite pressure plasma in a dipole magnetosphere // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 3. P. 3–12. DOI: 10.12737/stp-83202201.

77. Pipin V.V. On the effect of surface bipolar magnetic regions on the convection zone dynamo // *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 2022. Vol. 514, no. 1. P. 1522–1534. DOI: 10.1093/mnras/stac1434.

78. Podgorny A.I., Podgorny I.M., Borisenko A.V., Vashenyuk E.V., Balabin Yu.V., Meshalkina N.S., Gvozdevskiy B.B. Erratum to: Investigating the mechanism of the acceleration of cosmic rays during solar flares using the electric field in current sheets of the solar corona // *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics.* 2021. Vol. 85, no. 8. P. 925–927. DOI: 10.3103/S1062873821080207; 2022. Vol. 86, no. 3. P. 374. DOI: 10.3103/S1062873822220014.

79. Podlesnyi S.V., Devyatova E.V., Saunkin A.V., Vasilyev R.V. Comparing methods to estimate cloud cover over the Baikal natural territory in December 2020 // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 4. P. 95–102. DOI: 10.12737/stp-84202210.

80. Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Damped perturbations in inviscid shear flows: Van Kampen modes and Landau damping // *Physics of Fluids.* 2022. Vol. 34, no. 61. P. 064108. DOI: 10.1063/5.0094089.

81. Polyakov A.R. Structure of groups of eigenfrequencies in spectra of geomagnetic pulsations in the nightside magnetosphere // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 3. P. 46–50. DOI: 10.12737/stp-83202207.

82. Ponomarchuk S. N., Grozov V.P., Ilyin N.V., Kurkin V.I., Oinats A.V., Penzin M.S., Podlesnyi A.V., Tsedrik M.V. Backscatter ionospheric sounding by a continuous chirp signal // *Radiophysics and Quantum Electronics.* 2022. Vol. 64, no. 8–9. P. 591–604. DOI: 10.1007/s11141-022-10162-7.

83. Potapov A.S., Guglielmi, A., Klain B.I. Discrete spectrum of ultralow-frequency oscillations of the ionosphere // *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing.* 2022. Vol. 60. P. 4600505. DOI: 10.1109/TGRS.2021.3092738.

84. Potapov A.S., Guglielmi A., Klain B.I. Ratio Between Discrete IAR Frequencies from observations in the solar cycle 24 // *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*. 2022. Vol. 60. P. 2004605. DOI: 10.1109/TGRS.2022.3170473.
85. Potravnov I.S., Khovritchev M.Yu., Artemenko S.A., Shakhovskoy D.N. Jet from the enigmatic high-latitude star BP Psc and evolutionary status of its driving source // *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* 2022. Vol. 516, no. 4. P. 5863–5873. DOI: 10.1093/mnras/stac2667.
86. Ratovsky K.G., Klimenko M., Dmitriev A.V., Medvedeva I.V. Relation of extreme ionospheric events with geomagnetic and meteorological activity // *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, no. 1. P. 146. DOI: 10.3390/atmos13010146.
87. Saunkin A.V., Vasilyev R.V., Zorkaltseva O.S. Study of atomic oxygen airglow intensities and air temperature near mesopause obtained by ground-based and satellite instruments above Baikal natural territory // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, no. 1. P. 112. DOI: 10.3390/rs14010112.
88. Shikhovtsev A.Yu., Khaikin V., Mironov A., Kovadlo P.G. Statistical analysis of the water vapor content in North Caucasus and Crimea // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2022. Vol. 35, no. 2. P. 168–175. DOI:10.1134/S1024856022020105.
89. Shikhovtsev A.Yu., Lukin V.P., Kovadlo P.G. Development of adaptive-optics systems for ground-based solar telescopes // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2022. Vol. 35, no. 3. P. 189–196. DOI: 10.1134/S1024856022030137.
90. Shikhovtsev A.Yu. A Method of determining optical turbulence characteristics by the line of sight of an astronomical telescope // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2022. Vol. 35, no. 3. P. 303–309. DOI 10.1134/S1024856022030149.
91. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Khaikin V., Nosov V.V., Lukin V.P., Nosov E.V., Torgaev A.V., Kiselev A.V., Shikhovtsev M.Yu. Atmospheric conditions within Big Telescope Alt-Azimuthal Region and possibilities of astronomical observations // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, no. 8. P. 1833. DOI: 10.3390/rs14081833.
92. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Khaikin V., Kiselev A.V. Precipitable water vapor and fractional clear sky statistics within the Big Telescope Alt-Azimuthal Region // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, no. 24. P. 6221. DOI: 10.3390/rs14246221.
93. Shikhovtsev A.Yu., Kiselev A.V., Kovadlo P.G., Kolobov D.Y., Russkikh I.V., Tomin V.E. Turbulent parameters at different heights in the atmosphere. Shack — Hartmann wavefront sensor data // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 20–25. DOI: 10.12737/stp-82202203.
94. Shikhovtsev A.Yu., Kopylov E.A. Structure of atmospheric turbulence // *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, no. 7. P. 1107. DOI: 10.3390/atmos13071107.
95. Shikhovtsev A.Yu. Frequency parameters of wavefront variations from optical measurement data // *Proc. SPIE: 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Phys.* 2022. Vol. 12341. # 123410G. DOI: 10.1117/12.2644585.
96. Sinevich A.A., Chernyshov A.A., Chugunin D.V., Oinats A.V., Clausen L.B.N., Miloch W.J., Nishitani N., Mogilevsky M.M. Small-scale irregularities within polarization Jet/SAID during geomagnetic activity // *Geophys. Res. Lett.* 2022. Vol. 49, no. 828, e2021GL097107. DOI: 10.1029/2021GL097107.
97. Skomorovsky V.I., Kushtal G.I., Tokareva L.S. Iceland spar and birefringent filter development // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 1. P. 69–84. DOI 10.12737/STP-81202209.
98. Sorokin A.G., Dobrynin V.A. Method of studying infrasound waves from thunderstorms // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 1. P. 62–68. DOI: 10.12737/STP-81202208.
99. Syrenova T., Beletsky A.B., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Vasilyev R.V. Morphology of traveling wave disturbances recorded in Eastern Siberia in 630 nm atomic oxygen emission // *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, no. 2. P. 198. DOI: 10.3390/atmos13020198.
100. Tatarnikov A., Beletsky A.B., Zorkaltseva O.S., Tashchilin M.A., Shcheglova E.S., Yakovleva I.P. Monitoring of forest fires in the Baikal Natural Reserve according to the data of remote sensing of the Earth // *Ecology and Industry of Russia*. 2022. Vol. 26, no. 7. P. 68–71. DOI: 10.18412/1816-0395-2022-7-68-71.

101. Tolstikov M.V., Oinats A.V., Artamonov M., Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Statistical relation of traveling ionospheric disturbances with neutral wind and disturbances in the stratosphere // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 4. P. 78–88. DOI: 10.12737/stp-84202208.
102. Tsegmed B., Potapov A.S., Baatar N. Daytime geomagnetic pulsations accompanying sudden impulse of solar wind // *Proc. Mongolian Academy of Sciences.* 2022. Vol. 62, no. 2. P. 2380. DOI: 10.5564/pmas.v62i02.2380.
103. Uskov G.S., Zaznobin I.A., Sazonov S.Yu., Semena A.N., Gilfanov M.R., Burenin R.A., Eselevich M.V., Krivonos R.A., Lyapin A.R., Medvedev P.S., Khorunzhev G.A., Sunyaev R.A. New active galactic nuclei detected by the ART-XC and eROSITA telescopes onboard the SRG Observatory during an all-sky X-ray survey // *Astron. Lett.* 2022. Vol. 48, no. 2. P. 87–108. DOI: 10.1134/S1063773722020050.
104. Wang X.G., Chen Y., Huang X.L., Chen L., Zheng W., D'Elia V., De Pasquale M., Pozanenko A., Xin L.P., Stratta G., Ukwatta T., Akerlof C., Geng J.J., Han X.H., Hentunen V.P., Klunko E., Kuin N., et al. GRB 110213A: A study of afterglow electromagnetic cascade radiation // *Astrophys. J.* 2022. Vol. 939, no. 1. P. 39. DOI: 10.3847/1538-4357/ac937c.
105. Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M., Kiselev A.V., Mylnikova A.A., Oinats A.V., Ivanova V.A., Demyanov V.V. MITIGATOR: GNSS-based system for remote sensing of ionospheric absolute total electron content // *Universe.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 98. DOI: 10.3390/universe8020098.
106. Yasyukevich A., Vesnin A.M. Comparative analysis of variability in the mid-latitude stratosphere and ionosphere in winter periods // *Solar-Terr. Phys.* 2022. Vol. 8, no. 2. P. 61–68. DOI: 10.12737/stp-82202209.
107. Yasyukevich A., Chernigovskaya M. A., Shpynev B.G., Khabituev D.S., Yasyukevich Yu.V. Features of winter stratosphere small-scale disturbance during sudden stratospheric warmings // *Remote Sensing.* 2022. Vol. 14, no. 12. P. 2798. DOI: 10.3390/rs14122798.
108. Yasyukevich Yu.V., Vesnin A.M. Shared research facilities “Solar-terrestrial physics and control of near-Earth space” (“The Angara”) as applied for geodynamics and tectonophysics // *Geodynamics and Tectonophysics.* 2022. Vol. 13, no. 2. P. 0593. DOI:10.5800/GT-2022-13-2-0593.
109. Zagainova Yu., Fainshtein V.G., Obridko V.N., Rudenko G.V. Study of the magnetic properties of sunspot umbrae // *Astron. Rep.* 2022. Vol. 66, no. 2. P. 116–164. DOI: 10.1134/S1063772922030064.
110. Zaznobin I.A., Sazonov S.Yu., Burenin R.A., Uskov G.S., Semena A.N., Gilfanov M.R., Medvedev P.S., Sunyaev R.A., Eselevich M.V. Identification of three cataclysmic variables detected by the ART-XC and eROSITA telescopes on board the SRG during the all-sky X-ray survey // *Astron. Astrophys.* 2022. Vol. 661. P. A39. DOI: 10.1051/0004-6361/202141777.
111. Zaznobin I.A., Sazonov S.Yu., Mereminskiy I.A., Burenin R.A., Lutovinov A.A., Semena A.N., Molkov S.V., Lyapin A.R., Eselevich M.V. On V520 Mon — the optical counterpart of MAXI J0655-013/SRGA J065513.5-012846 // *The Astronomer's Telegram.* 2022. no. 15582. <https://www.astronomerstelegam.org/>.
112. Zhao X.X., Zong Q., Liu J., Yue C., Zhou X.Z., Hao Y., Chen X., Klimushkin D., Rubtsov A.V., Blake J., Claudepierre S.G., Reeves G. Normal and reversed-boomerang stripes on electron pitch angle distributions: solar wind dynamic pressure effect // *Geophys. Res. Lett.* 2022. Vol. 49, no. 228, e2021GL096526. DOI: 10.1029/2021GL096526.
113. Zhivetiev I.V., Yasyukevich Yu.V. Network theory to reveal ionospheric anomalies over North America and Australia // *Atmosphere.* 2022. Vol. 13, no. 8. P. 1333. DOI: 10.3390/atmos13081333.
114. Zhukova A.V., Khlystova A.I., Abramenko V., Sokoloff D.D. Synthetic solar cycle for active regions violating the Hale's polarity law // *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 2022. Vol. 512, no. 1. P. 1365–1370. DOI: 10.1093/mnras/stac597.
115. Zhukova A.V., Khlystova A.I., Abramenko V., Sokoloff D.D. Cyclic variations of active regions violating the Hale's polarity law in 1989–2020 and in the synthetic cycle // *Geo-*

magnetism and Aeronomy. 2022. Vol. 62, no. 7. P. 823–833. DOI: 10.1134/S0016793222070210.

116. Zhong S., Nakariakov V.M., Kolotkov D., Anfinogentov S. Long-term evolution of decayless kink oscillations of solar coronal loops // *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 2022. Vol. 513, no. 2. P. 1834–1841. DOI: 10.1093/mnras/stac1014.

### 5.3. Монографии

1. Верховина А.В., Воронин В.И., Морозова Т.И., Осколков В.А., Сизых А.П., Кривенко Д.А., Казановский С.Г., Мурашко В.В., Суворова Г.Г., Керчев И.А., Копысов С.Г., Елисеев А.О., Воропай Н.Н., Дюкарев Е.А., Волков Ю.В., Татарников А.В., Васильев Р.В., Белецкий А.Б., Медведева И.В., Едемский И.К., Зоркальцева О.С., Тащилин М.А. Формирование концептуальных основ оценки экологических рисков состояния растительного покрова // *Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2022. С. 91–138. («Интеграционные проекты СО РАН». Вып. 48).

2. Ходжер Т.В., Оболкин В.А., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Дембелов М.Г., Башкуев Ю.Б., Насонов Г.В., Тарасенков М.В., Стенников В.А., Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Губий Е.В., Майсюк Е.П., Шакиров В.А., Васильев Р.В. Формирование концептуальных основ мониторинга экстремальных природных явлений и антропогенных выбросов в атмосфере // *Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2022. С. 186–255. («Интеграционные проекты СО РАН». Вып. 48).

3. Язев С.А., Головкин А.А., Смольков Г.Я. Наблюдения солнечных пятен в Иркутске // *Историко-астрономические исследования*. Вып. 41. Воронеж: Изд-во ПринтАрт, 2022. С. 285–316. ISBN 978-5-6047670-5-4. <http://www.sai.msu.ru/history/IAI/IAI-41-2022.pdf>.

4. Demyanov V.V., Yasyukevich Yu.V., Sergeeva M.A., Vesnin A.M. Space Weather Impact on GNSS Performance. Switzerland AG: Springer Nature, 2022. 376 p. DOI: 10.1007/978-3-031-15874-2.

### 5.4. Результаты интеллектуальной деятельности

1. Хлыстова А.И. Магнитные поля и течения плазмы при появлении активных областей в фотосфере Солнца. Свидетельство о государственной регистрации БД базы данных № 2022620307 от 08.02.2022.

2. Хабитуев Д.С., Черниговская М.А. Программа для визуального отображения и форматирования архивных данных вертикального зондирования ионосферы со станций Зуй и Бадары. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022668610 от 10.10.2022.

3. Сетов А.Г. Программа для получения калиброванного потока солнечного излучения по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681365 от 11.11.2022.

4. Алсаткин С.С. Автоматизированное определение профиля электронной концентрации по данным, полученным методом некогерентного рассеяния, радаром с антенной линейной поляризации. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681957 от 17.11.2022.

5. Пономарчук С.Н., Куркин В.И. Способ местоопределения источников декаметрового радиоизлучения. Заявка на изобретение № 20221 19293/07(040704) от 13.07.2022.

## 5.5. Электронные издания

1. Fu L., Zhu Z., Yuan D., Wang J., Feng S., Anfinogentov S. Inter-correlation between sunspot oscillations and their internal structures // arXiv.org. 2022. Ст. arXiv:2209.05982v1. <https://arxiv.org/pdf/2209.05982.pdf>.
  2. Guglielmi A., Klain B.I., Potapov A.S. Alfvén waves: To the 80th anniversary of discovery // arXiv.org. 2022. P. arXiv:2204.12700. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2204/2204.12700.pdf>.
  3. Kitchatinov L.L. Inferring quadrupolar dynamo mode from sunspot statistics // arXiv.org. 2022. P. arxiv:2205.13747v2. <https://arxiv.org/pdf/2205.13747.pdf>.
  4. Kitchatinov L.L. The dependence of stellar activity cycles on effective temperature // arXiv.org. 2022. P. arXiv:2205.09952v. <https://arxiv.org/pdf/2205.09952.pdf>.
  5. Kitchatinov L.L. The dependence of stellar activity cycles on effective temperature // Research in Astronomy and Astrophysics. 2022. (In print). DOI: 10.1088/1674-4527/ac9780.
  6. Kosovichev A.G., Guerrero G., Stejko A.M., Pipin V.V., Getling A.V. Advances and challenges in observations and modeling of the global-Sun dynamics and dynamo // arXiv.org. 2022. P. arXiv:2203.10721v1. <https://arxiv.org/pdf/2203.10721.pdf>.
  7. Kuznetsov A.A., Karakotov R.R., Chandrashekhar K., Banerjee D. X-Ray and ultraviolet flares on at microscopii observed by AstroSat // Res. Astron. Astrophys. 2022. (In print). DOI: 10.1088/1674-4527/aca190.
  8. Pipin V.V., Kosovichev A.G., Tomin V.E. Effects of emerging bipolar magnetic regions in mean-field dynamo model of solar cycles 23 and 24 // arXiv.org. 2022. P. arXiv:2210.08764v1. <https://arxiv.org/pdf/2210.08764.pdf>.
  9. Sych R.A., Altyntsev A.T. Microwave response to sunspot oscillations // arXiv.org. 2022. Ст. arXiv:2210.02044v1. <https://arxiv.org/pdf/2210.02044.pdf>.
  10. Ratovsky K.G., Medvedeva I.V. Local empirical model of ionospheric variability // Adv. Space Res. (In print). DOI: 10.1016/j.asr.2022.10.065.
  11. Zaznobin I.A., Burenin R.A., Eselevich M.V. GRB 221009A: Sayan observatory 1.6-m telescope observations // GRB Coordinates Network, Circular Service. 2022. Ст. 32729.
  12. Zhukova A., Sokoloff D., Abramenko V., Khlystova A. The north-south asymmetry of active regions of different magneto-morphological types in solar cycles 23 and 24 // Adv. Space Res. (In print). DOI: 10.1016/j.asr.2022.09.013.
- Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Лесовой С.В., Жданов Д.А. Субсекундные импульсы в микроволновом излучении Солнца, // Успехи физических наук. DOI: 10.3367/UFNr.2022.06.039205. (в печати).

## 5.6. Доклады на российских конференциях

1. Амосова Н.О. Проблема показателей психологического здоровья в психолого-педагогической литературе // Проблемы теории и практики современной психологии: материалы XXI Всеросс. с междунар. участием научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Иркутск, 29–30 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2022. С. 571–574.
2. Белецкий А.Б., Ткачев И.Д., Насыров И.А., Грач С.М., Когогин Д.А., Шиндин А.В. Предварительные результаты фотометрии эмиссий атомарного кислорода 557.7 и 630 нм, индуцированных радиоизлучением стенда «Сура» // 87-е Всероссийские открытые Армандовские чтения «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»: материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 184–192. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-184-192.
3. Белецкий А.Б., Ткачев И.Д., Грач С.М., Шиндин А.В., Насыров И.А. Оптическое свечение в линии 557,7 нм, обусловленное воздействием стенда СУРА на спорадический слой E // Труды XXVI научной конф. по радиофизике, посв. 120-летию М.Т. Греховой. Нижний Новгород, 12–27 мая 2022 г. Нижний Новгород, 2022. С. 142–145. URL:

<http://www.rf.unn.ru/wp-content/uploads/sites/21/2022/11/rf-conf-2022-book.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

4. Вампилов Б.А., Бернгардт О.И. Создание и обучение обобщенной модели данных ионосферных радаров SuperDARN методами машинного обучения // Коммуникационные технологии: социально-экономические и информационные аспекты. Материалы Всеросс. (с международным участием) молодежной научно-практ. конф. Иркутск, 06–20 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2022. С. 10–14.

5. Головкин А.А., Салахутдинова И.И. Особенности структуры и динамики активной области № 12673, связанные со вспышками // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022»: труды. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 57–60. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/book/conf2022.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

6. Григорьев В.М., Демидов М.Л. Магнитные поля Солнца и прогноз условий в околоземном космическом пространстве. Научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Метеорология и геоинформационное обеспечение». Технополис «Эра», Анапа, 14–15 ноября 2022 г.

7. Еселевич М.В., Лебедев В.П. Возможности радио-оптического комплекса ИСЗФ СО РАН по наблюдению космических объектов. Научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Метеорология и геоинформационное обеспечение». Технополис «Эра», Анапа, 14–15 ноября 2022 г.

8. Жеребцов Г.А., Куркин В.И., Медведев А.В. Радиофизические исследования особенностей геофизической обстановки в Азиатском регионе России. Научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Метеорология и геоинформационное обеспечение». Технополис «Эра», Анапа, 14–15 ноября 2022 г.

9. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Исследование влияния мощных взрывных процессов в активных областях на характер колебаний параметров магнитного поля в тени солнечных пятен // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022»: труды. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 107–110. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/book/conf2022.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

10. Каракотов Р. Р., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А. Оценка параметров sloshing-колебаний во вспышечных корональных петлях по данным наблюдений SDO/AIA // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022»: труды. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 143–146. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/book/conf2022.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

11. Каракотов Р.Р., Анфиногентов С.А. Исследование колебаний в солнечной плазме путем построения пространственно-временных диаграмм // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Т. 2. СПб.: Университет ИТМО, 2022. С. 174–178. URL: [https://science.itmo.ru/wp-content/uploads/2022/10/TOM\\_2\\_%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%85\\_426.pdf](https://science.itmo.ru/wp-content/uploads/2022/10/TOM_2_%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%85_426.pdf) (дата обращения: 12.01.2023).

12. Кичатинов Л.Л. Дифференциальное вращение и циклы активности звезд солнечного типа // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022»: труды. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 151–156. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/book/conf2022.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

13. Куркин В.И., Полех Н.М., Золотухина Н.А. Ионосферные эффекты слабых геомагнитных бурь в минимуме солнечной активности: весеннее равноденствие // 87-е Всероссийские открытые Армандовские чтения «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»: материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 105–114. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-105-114.

14. Куркин В.И., Медведева И.В., Подлесный А.В., Думбрава З.Ф., Поддельский И.Н. Влияние внезапного стратосферного потепления на характеристики среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений в азиатском регионе России // 87-е Всероссийские открытые Армандовские чтения «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»: материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 27–35. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-27-35.

15. Ларюнин О.А., Куркин В.И., Рыбкина А.А., Подлесный А.В. К вопросу моделирования признаков ионосферных возмущений на ионограммах вертикального зондирования // 87-е Всероссийские открытые Армандовские чтения «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»: материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 144–149. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-144-149.

16. Лебедев В.П., Сетов А.Г., Ермаков В.Ю. Антенна Иркутского радара некогерентного рассеяния: математическая модель, методы калибровки // 87-е Всероссийские открытые Армандовские чтения «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»: материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 527–537. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-527-537.

17. Лебедев В.П., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Куркин В.И. Измерение диаграммы направленности КВ-антенн методом облета с привлечением беспилотного летательного аппарата DJIMatrice 100 // 87-е Всероссийские открытые Армандовские чтения «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»: материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 538–545. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-538-545.

18. Левина Е.А., Ружич В.В., Смольков Г.Я. Космические факторы как модуляторы сейсмического режима // Добрецовские чтения: Наука из первых рук: материалы Первой Всеросс. науч. конф., посв. памяти выдающего ученого и организатора науки академика РАН Николая Леонтьевича Добрецова. Новосибирск, 1–5 августа 2022 г. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2022. С. 155–157.

19. Легостаева Ю.К., Грач С.М., Шиндин А.В., Сергеев Е.Н., Грехнева К.К., Павлова В., Хашев В.Р., Когогин Д.А., Насыров И.А., Белецкий А.Б. Предварительные результаты исследований искусственного оптического свечения ионосферы в линии 630 нм на стенде СУРА в 2021 г. при регистрации в трех приемных пунктах // Труды XXVI научной конф. по радиофизике, посв. 120-летию М.Т. Греховой. Нижний Новгород, 12–27 мая 2022 г. Нижний Новгород, 2022. С. 166–169. URL: <http://www.rf.unn.ru/wp-content/uploads/sites/21/2022/11/rf-conf-2022-book.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

20. Мешалкина Н.С., Мельников В.Ф. Расширение и сжатие системы вспышечных петель во время вспышки 15.01.2022 по данным в ультрафиолетовом и микроволновом диапазонах // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022»: труды. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 327–330. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/book/conf2022.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

21. Мотык И.Д., Сетов А.Г., Шамсутдинова Ю.Н., Жданов Д.А., Кашапова Л.К. Исследование связи между микроволновым и метровым излучением всплеска на фазе спада круговой вспышки 22 мая 2021 по данным Сибирского радиогелиографа и Иркутского радара некогерентного рассеяния // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022»: труды. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 213–216. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/book/conf2022.pdf> (дата обращения: 12.01.2023).

22. Насыров И. А., Дементьев В.О., Когогин Д.А., Шиндин А.В., Белецкий А.Б. Общий регрессионный и корреляционный анализ экспериментальных данных по искусственному свечению ионосферы, полученных на стенде СУРА в течении 24-го цикла солнечной активности // 87-е Всероссийские открытые Армандовские чтения «Современные

проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»: материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 73–80. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-73-80.

23. Пензин М.С., Ильин Н.В., Пономарчук С.Н. Модель распространения декаметровых радиоволн на основе метода нормальных волн // 87-е Всероссийские открытые Армандовские чтения «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»: материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 150–159. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-150-159.

24. Смотровая Е.Е., Михайлова О.С., Сыренова Т.Е. Подготовка изображений, полученных камерой всего неба, для комплексного анализа волновых событий в магнитосфере // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Т. 2. СПб.: Университет ИТМО, 2022. С. 191–195. URL: [https://science.itmo.ru/wp-content/uploads/2022/10/ТОМ\\_2\\_%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%85\\_426.pdf](https://science.itmo.ru/wp-content/uploads/2022/10/ТОМ_2_%D0%90%D0%BB%D1%8C%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%85_426.pdf) (дата обращения: 12.01.2023).

25. Тирских Д.В., Бернгардт О.И. Восстановление знаков препинания в не структурированном тексте с использованием сверточных нейронных сетей // Коммуникационные технологии: социально-экономические и информационные аспекты. Материалы Всеросс. (с международным участием) молодежной научно-практ. конф. Иркутск, 06–20 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2022. С. 78–83.

26. Цедрик М.В., Подлесный, А.В., Куркин В.И. Трехпозиционный прием ЛЧМ-сигналов при слабонаклонном зондировании ионосферы // 87-е Всероссийские открытые Армандовские чтения «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»: материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 223–229. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-223-229.

27. Шабанов Р.А., Бернгардт О.И. Имитация особенностей речи рассказчика с использованием методов машинного обучения // Коммуникационные технологии: социально-экономические и информационные аспекты. Материалы Всеросс. (с международным участием) молодежной научно-практ. конф. Иркутск, 06–20 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2022. С. 94–99.

### **5.7. Доклады на международных, в том числе зарубежных, конференциях**

1. Lukovnikova A.A. Cosmic ray variations in November, 2012 // Proc. of Science: 37th International Cosmic Ray Conference. 12–23 July 2021. Berlin, Germany. 2022. # 1278. DOI: 10.22323/1.395.01278. URL: <https://pos.sissa.it/395/1278/pdf>

2. Oinats A.V., Tolstikov M.V. Study of ionospheric irregularities using HF radars // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Proc. Apatity, 2022. P. 98–101. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

3. Podgorny A.I., Podgorny I.M., Borisenko A.V., Meshalkina N.S. The choice of parameters and the appearance of a flare situation in MHD simulations above the active region in the real scale of time // Astronomy at the Epoch of Multimessenger Studies: Proc. VAK-2021 Conference. August 23–28, 2021. M.: Janus-K, 2022. P. 329–331. DOI: 10.51194/VAK2021.2022.1.1.129. [http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/02/VAK\\_2021\\_.pdf#page=346](http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/02/VAK_2021_.pdf#page=346).

4. Yasyukevich Yu.V., Yasyukevich A., Zatolokin D.A. Assessing the performance of models for ionospheric correction for single-frequency GNSS positioning // Progress in Electromagnetics Research Symposium ( PIERS 2022) Hangzhou, April 25–29, 2022 : Proc. 2022. P. 1023–1028. DOI: 10.1109/PIERS55526.2022.9792988. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9792988>.

5. Yasyukevich Yu.V., Astafyeva E.I., Oinats A.V., Vesnin A.M., Yasyukevich A., Vasiliev A., Garashchenko A., Sidorov D. Multi-instrumental View of the Auroral Oval // Progress in Electromagnetics Research Symposium ( PIERS 2022) Hangzhou, April 25–29, 2022: Proc. 2022. P. 1009–1013. DOI: 10.1109/PIERS55526.2022.9792594. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9792594>.

6. Yasyukevich A., Vesnin A.M. Short-period variability in the ionosphere and the stratosphere related to winter jet stream // 2022 3rd URSI Atlantic and Asia Pacific Radio Science Meeting. Gran Canaria, 30 May – 4 June, 2022: Proc. 2022. DOI: 10.23919/AT-AP-RASC54737.2022.9814254.
7. Yazev S.A., Tomozov V.M., Isaeva E.S. Activity complexes on the Sun in cycle 24 // Astronomy at the Epoch of Multimessenger Studies: Proc. VAK-2021 Conference, Aug 23–28, 2021. M.: Janus-K, 2022. P. 343–344. DOI: 10.51194/VAK2021.2022.1.1.136. [http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/02/VAK\\_2021\\_.pdf#page=346](http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/02/VAK_2021_.pdf#page=346).
8. Zhdanov D.A. First observations of the microwave fine structures with the 3–6 GHz Siberian Radioheliograph // Astronomy at the Epoch of Multimessenger Studies: Proc. VAK-2021 Conference, August 23–28, 2021. M.: Janus-K, 2022. P. 345–345. DOI: 10.51194/VAK2021.2022.1.1.137. [http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/02/VAK\\_2021\\_.pdf#page=346](http://www.inasan.ru/wp-content/uploads/2022/02/VAK_2021_.pdf#page=346).
9. Zhukova A.V., Khlystova A.I., Abramenko V., Sokoloff D.D. Temporal and latitudinal distribution of anti-Hale active regions in the synthetic solar cycle // Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”. 6–10 June 2022, Primorsko, Bulgaria: Book of Proc. 2022. P. 4–9. DOI: 10.31401/WS.2022.proc.
10. Батмунх Д., Головкин А.А., Лхагважав Ч., Батбаяр Б., Түвшинжаргал Б. Результаты совместных Российско - Монгольских исследований в области астрофизики, полученные в период 2000–2020 гг. // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 214–223.
11. Башкирцев В.С., Машнич Г.П. Можно ли доверять данным NCDC? // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 224–226.
12. Боровик А.В. Результаты многолетних исследований вспышек малой мощности на Солнце // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 227–230.
13. Власов А.А., Леонович А.С., Козлов Д.А. Определение поперечной структуры монохроматических альфвеновских волн по фазовому сдвигу между компонентами их электромагнитного поля // Труды Междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике. Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 155–157.
14. Власов А.А., Леонович А.С., Козлов Д.А. Поток сверхтепловых электронов, ускоряемых в ионосферу кинетическими альфвеновскими волнами и возможность формирования SAR arcs // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Proc. Apatity, 2022. P. 62–65. <http://www.pgia.ru/seminar/>.
15. Вяткин А.Н., Зоркальцева О.С. Исследование эффектов Эль-Ниньо в верхних слоях атмосферы // Труды Междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике. Конференция молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 161–162.
16. Григорьев В.М., Ермакова Л.В., Хлыстова А.И. Активные долготы в период завершения 24 и начала 25 цикла солнечной активности // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 236–238.
17. Данильчук Е.И., Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С. Влияние геомагнитной бури 17 марта 2015 г. на точность одночастотного GPS-позиционирования // Труды Междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: 2022. С. 168–170.

18. Данильчук Е.И., Демьянов В.В. Экспериментальная оценка вклада шумов приемника в точность определения частоты девиации в спектре мерцаний фазы несущей трансионосферного сигнала навигационных спутников // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 171–173.

19. Емельянов В.В., Когогин Д.А., Максимов Д.С., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Шиндин А.В., Грач С.М., Загретдинов Р.В. Исследование возмущенной мощным радиоизлучением области ионосферы на основе совместного анализа снимков ночного неба и двумерных карт вариаций полного электронного содержания // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 185–187.

20. Ермаков В.Ю., Лебедев В.П. Сравнение результатов моделирования с результатами измерения диаграммы направленности КВ-антенны типа дельта методом облета с привлечением беспилотного летательного аппарата DJI MATRICE 100 // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 353–355.

21. Зоркальцева О.С., Антохина О.Ю., Антохин П.Н. Долговременная изменчивость внезапных стратосферных потеплений и их взаимосвязь с процессами в тропосфере // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 191–193.

22. Иванова В.А., Подлесный А.В., Поддельский А.И. Крупномасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения, зарегистрированные по данным наклонного зондирования во время магнитных бурь в 2006–2011 гг. // XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 4–8 июля 2022 г., Томск: труды. 2022. С. E116–E119. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/i1>.

23. Ивонин В.А., Лебедев В.П. Моделирование радиолокационного сигнала в УКВ-диапазоне с учетом эффектов распространения в тропосфере и ионосфере // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 194–196.

24. Исаева Е.С., Язев С.А. 25-й цикл солнечной активности. первые два года // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 55–57.

25. Исаева Е.С., Томозов В.М., Язев С.А. О связи корональных дыр и комплексов активности на Солнце // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 58–60.

26. Капустин В.Э., Лунюшкин С.Б., Мишин В.В., Пенских Ю.В. Сравнение ионосферных распределений продольных токов и полярных сияний по данным техники инверсии магнитограмм и IMAGE FUV для суббури 27 августа 2001 г. // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 202–205.

27. Каракотов Р.Р., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А. Исследование захваченных колебаний в солнечных вспышках по данным наблюдений в ультрафиолетовом диапазоне // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и

Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 61–63.

28. Караханян А.А., Молодых С.И. Естественные ортогональные функции теплосодержания энергоактивных районов мирового океана // XXVIII Международный симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". 04-08 июля 2022 г., Томск: труды. 2022. С. D200–D203. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/i1>

29. Клименко М.В., Клименко В.В., Бессараб Ф., Ратовский К.Г., Суходолов Т.В., Розанов Е.В. Применение ансамблевого подхода для исследований ионосферы на основе результатов численного моделирования // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 364–365.

30. Коваadlo П.Г. Астроклимат. Исследование структурированной атмосферной оптической турбулентности // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. - Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 239–244.

31. Коваadlo П.Г., Шиховцев А.Ю., Киселев А.В., Колобов Д.Ю., Русских И.В., Лукин В.П., Шиховцев М.Ю. Определение интенсивности турбулентности из измерений параметров искажений волнового фронта // XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 4–8 июля 2022 г., Томск: труды. 2022. С. A88–A91. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/i1>

32. Коваadlo П.Г., Шиховцев А.Ю. Структура атмосферных течений в месте расположения Большого солнечного вакуумного телескопа // XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 4–8 июля 2022 г., Томск: труды. 2022. С. D187-D190. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/i1>

33. Коваadlo П.Г., Леженин А.А. О генерации кинетической энергии пульсационной составляющей скорости ветра в пограничном слое атмосферы // XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 4–8 июля 2022 г., Томск: труды. 2022. С. D195–D199. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/i1>

34. Ковалев И.И., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Расширение метода спектрографической глобальной съемки // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 64–67.

35. Коробцев И.В., Еселевич М.В. Результаты наблюдений на телескопах Саянской солнечной обсерватории по задачам, связанным с проблемой космического мусора // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 245–248.

36. Костарев Д.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Изменение функции распределения потоков холодных частиц под действием параллельного электрического поля альфвеновской волны // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 215–217.

37. Легостаева Ю.К., Грач С.М., Шиндин А.В., Грехнева К.К., Павлова В., Хашев В.Р., Когогин Д.А., Насыров И.А., Белецкий А.Б. Предварительные результаты исследований искусственного оптического свечения ионосферы в линии 630 нм на стенде сура в 2021 г. при регистрации в трех приемных пунктах // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 224–225.

38. Марчук Р.А., Потапов А.С., Мишин В.В., Цэгмэд Б. Глобальные ультракороткопериодные импульсы геомагнитного поля // Россия и Монголия: результаты и перспективы

научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 249–252.

39. Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстиков М.В. Межгодовые вариации атмосферной и ионосферной изменчивости в 24-м солнечном цикле // XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 4–8 июля 2022 г., Томск: труды. 2022. С. А84–А87. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/i1>.

40. Медведева И.В., Татарников А.В., Едемский И.К., Саункин А.В. Исследование вариаций атмосферных примесей над Байкальской природной территорией по многолетним данным спутниковых измерений MLS AURA // XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 4–8 июля 2022 г., Томск: труды. 2022. С. А116–А119. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/i1>.

41. Михайлова О.С., Смотровая Е.Е., Магер П.Н. Генерация УНЧ-волны электронами: исследование по наблюдениям зонда Van Allen Probe A // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 231–233.

42. Мишин В.В., Марчук Р.А., Клибанова Ю.Ю., Михалев А.В., Пенских Ю.В. Отклик магнитосферы на вариации межпланетного магнитного поля во время магнитосферной бури // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 234–236.

43. Молодых С.И., Караханян А.А. Пространственное распределение отклика теплосодержания мирового океана на солнечное воздействие // XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 4–8 июля 2022 г., Томск: труды. 2022. С. E112–E115. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/i1>.

44. Мотык И.Д., Сетов А.Г., Шамсутдинова Ю.Н., Жданов Д.А., Кашапова Л.К. Исследование связи между микроволновым и метровым излучением всплеска на фазе спада круговой вспышки 22 мая 2021 г. по данным Сибирского радиогелиографа и Иркутского радара некогерентного рассеяния // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 93–94.

45. Обытоцкий Г.В., Тащилин М.А. Исследование аэрозольной оптической толщи в Байкальском регионе с помощью спутниковых данных SENTINEL // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 252–254.

46. Ожогина О.А. Наблюдательные особенности необычного светлого образования в тени пятна NOAA 12109 в двух спектральных диапазонах // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 253–255.

47. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Цэгмэд Б., Казанцев Л.В. Геоэффективность диамагнитных структур эруптивных протуберанцев (ДСЭП) // Proc. 45th Annual Seminar “Physics of auroral phenomena”. Apatity, 14–18 March, P. 39–45. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

48. Пенских Ю.В. Диагностика авроральных овалов в двух полушариях Земли на основе техники инверсии магнитограмм // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 264–267.

49. Пенских Ю.В., Капустин В.Э. Алгоритм поиска границ аврорального овала по выходным данным модели OVATION Prime // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодей-

ствие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 387–389.

50. Петрашук А.В., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Вариация пространственной структуры альфвеновских волн в горячей плазме // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 390–392.

51. Плачинда С., Демидов М.Л., Бутковская В., Логвинов В. Новый подход к многоволновым наблюдениям магнитного поля Солнца как звезды // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 98–100.

52. Подлесный С.В., Девятова Е.В., Саункин А.В., Васильев Р.В. Метод определения облачного покрова по данным цветной широкоугольной камеры ФИЛИН-1 // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 258–260.

53. Полухина С.А., Кашапова Л.К. Определение положения вспышечного источника для события Sol2022-02-03t04:21UT по наблюдениям Сибирского радиогелиографа в микроволновом диапазоне // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 102–103.

54. Потравнов И.С., Еселевич М.В., Артеменко С.А., Клунко Е.В. Исследования активности молодых звезд в Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН / И. С. Потравнов, М. В. Еселевич, С. А. Артеменко, Е. В. Клунко // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 268–271.

55. Рубцов А.В., Нозе М. Влияние плазмосферы на пространственное распределение УНЧ-волн в магнитосфере Земли // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 264–266.

56. Рубцов А.В., Михайлова О.С., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю., Жень Ц., Цзун Ц.-Г. Генерация дневных Pc4-5 пульсаций градиентной неустойчивостью по многоточечным спутниковым наблюдениям // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 267–269.

57. Саункин А.В., Васильев Р.В., Зоркальцева О.С. Климатология эмиссионного слоя 557.7 нм над югом Восточной Сибири // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 278–279.

58. Серебренникова С.А. Модель для мониторинга авроральной активности по данным ГНСС, построенная на основе машинного обучения Random Forest // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 280–281.

59. Смотрова Е.Е., Михайлова О.С., Магер П.Н., Белецкий А.Б., Васильев Р.В., Сыренова Т.Е. Применение данных камеры всего неба для исследования явлений, протекающих в магнитосфере // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундамен-

тальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 289–291.

60. Смотровая Е.Е., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю., Михайлова О.С. Метод диагностики проводимости ионосферы с помощью наблюдений магнитосферных УНЧ-волн // Труды междунаучной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 292–294.

61. Сорокин А.Г., Добрынин В.А. Методика исследования инфразвуковых сигналов от гроз // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 272–277.

62. Софьин А.В. Зоны влияния ПИВ различных масштабов на ионограммы наклонного зондирования ионосферы // Труды междунаучной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 406–408.

63. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Белецкий А.Б., Подлесный С.В., Артамонов М.Ф. Первые результаты наблюдений атмосферы Земли с помощью фотометров национального гелиогеофизического комплекса ИСЗФ СО РАН // Труды междунаучной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 309–311.

64. Трофимов Е.А., Медведев А.В. Экспериментальное исследование полного вектора скорости ПИВ // Труды междунаучной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 319–321.

65. Цедрик М.В. Амплитудные карты поляризованных компонент сигналов ЛЧМ-зондирования ионосферы // Труды междунаучной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 330–332.

66. Челпанов М.А., Климушкин Д.Ю., Магер О.В. Наблюдение резонанса УНЧ-волны и электронов с помощью спутников MMS // Труды междунаучной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 333–334.

67. Шамсутдинова Ю.Н., Жданов Д.А., Кашапова Л.К. О связи между микроволновым и метровым излучением во время солнечной вспышки 3 июня 2021 г. // Труды междунаучной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 132–134.

68. Шиховцев А.Ю. Интенсивность оптических искажений на разных высотах в атмосфере по данным измерений волнового фронта в Байкальской астрофизической обсерватории // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 287–290.

69. Шиховцев А.Ю. Частотные характеристики вариаций волнового фронта по данным оптических измерений // XXVIII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 04-08 июля 2022 г., Томск: труды. 2022. С. А24–А27. <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/i1>

70. Шиховцев М.Ю. Сдвиги скорости ветра в верхних слоях атмосферы в регионе оз. Байкал по данным реанализа ERA-5 // Физика окружающей среды: материалы XV Междунаучной Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 5–9 июля 2022 г. 2022. С. 77–79. <https://symp.iao.ru/ru/sys/15/i1>.

71. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Колобов Д.Ю., Киселев А.В., Русских И.В. Определение характеристик атмосферной турбулентности на разных высотах по наблюдениям двух фрагментов солнечного пятна // Физика окружающей среды: материалы XV Междунар. Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 5–9 июля 2022 г. 2022. С. 73–74.

72. Шиховцев А.Ю., Киселев А.В., Колобов Д.Ю., Русских И.В. Измерения вертикальных профилей атмосферной турбулентности с помощью датчика Шэка — Гартмана // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 335–336.

73. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Копылов Е.А., Ибрагимов М., Эхгамбердиев С.А., Тиллаев Ю.А. Спектры атмосферной турбулентности для расчета параметра  $C_2$  в районе обсерваторий Майданак и Суффа в Узбекистане // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 415–417.

74. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Копылов Е.А., Ибрагимов М., Суан Х.Л. Астроклиматические условия в астрономических обсерваториях Хоа Лак и Нячанг // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 418–420.

75. Язев С.А., Семенов Д.В., Меркулов М.А. О возможных направлениях Российско-Монгольского сотрудничества в области исследований Солнца и популяризации астрономии // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества. Труды Международной научной конференции. Иркутск, 6–8 апреля 2022 г. - Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы, 2022. С. 291–299.

76. Яковлева О.Е., Кушнарченко Г.П., Кузнецова Г.М. Сезонные проявления геомагнитной активности на высотах слоя F1 на станции Иркутск в разные временные периоды // Физика окружающей среды: материалы XV Междунар. Школы молодых ученых «Физика окружающей среды» им. А.Г. Колесника. Томск, 5–9 июля 2022 г. 2022. С. 80–83. <https://symp.iao.ru/ru/sys/15/i1>.

77. Яковлева О.Е., Кушнарченко Г.П., Кузнецова Г.М. Эффекты геомагнитных возмущений в дневной электронной плотности на высотах слоя F1 (ст. Норильск) // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 340–342.

78. Яковлева И.П., Тащилин М.А. Спектральные характеристики аэрозольной оптической толщи в условиях дымов лесных пожаров в Байкальском регионе // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 343–344.

79. Ясюкевич А.С., Ясюкевич Ю.В., Затолокин Д.А. Оценка эффективности моделей ионосферы в целях коррекции одночастотных координатных измерений ГНСС // Труды междунар. Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом». Иркутск, 5–10 сентября 2022 г. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2022. С. 345–347.

## **5.8. Тезисы докладов на российских конференциях**

1. Алтынцев А.Т., Лесовой С.В., Анфиногентов С.А., Глоба М.В., Губин А.В., Кашапова Л.К., Кузнецов А.А., Мешалкина Н.С., Сыч Р.А. Многоволновые наблюдения Солнца Сибирским радиогелиографом в диапазонах 3–6 ГГц и 6–12 ГГц // Семнадцатая

ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 43. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

2. Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Жданов Д.А., Глоба М.В. Микроволновые наблюдения структуры оптически толстых вспышечных источников // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2022». 22–26 августа 2022 г., КрАО РАН (п. Научный): тезисы докл. 2022. URL: <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Altyncev.pdf2> (дата обращения: 10.01.2022).

3. Алтынцев А.Т. О мониторинге солнечной активности современными радиосредствами // Всеросс. радиоастрономическая конф. «Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии» (ВРК-2022). 19–23 сентября 2022 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. СПб., 2022. С. 10. URL: [https://iaaras.ru/media/docs/abstract\\_vrk2022.pdf](https://iaaras.ru/media/docs/abstract_vrk2022.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

4. Анфиногентов С.А., Кальтман Т.И., Ступишин А., Лукичева М., Накаряков В.М., Шендрик А.В. Наблюдения корональных струй на Сибирском радиогелиографе // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 65. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

5. Анфиногентов С.А. Многоволновые наблюдения квазипериодических пульсаций по данным Сибирского радиогелиографа во время солнечной вспышки // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2022». 22–26 августа 2022 г., КрАО РАН (п. Научный): тезисы докл. 2022. URL: <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Anfinogentov.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

6. Боровик А.В. Солнечные вспышки малой мощности: результаты исследований // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2022». 22–26 августа 2022 г., КрАО РАН (п. Научный): тезисы докл. 2022. URL: <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Borovik.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

7. Бородкова Н.Л., Сапунова О.В., Еселевич В.Г., Ермолаев Ю.И., Застенкер Г.Н. Зависимость величины овершута в потоке ионов солнечного ветра от параметров фронта ударной волны // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 108. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

8. Власов А.А., Леонович А.С., Козлов Д.А. Кинетические Альфеновские волны вблизи диссипативного слоя // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 286. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

9. Глоба М.В., Лесовой С.В., Губин А.В. Определение положения антенн Сибирского радиогелиографа по данным наблюдений Солнца // Всеросс. радиоастрономическая конф. «Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии» (ВРК-2022). 19–23 сентября 2022 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. СПб., 2022. С. 20. URL: [https://iaaras.ru/media/docs/abstract\\_vrk2022.pdf](https://iaaras.ru/media/docs/abstract_vrk2022.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

10. Головкин А.А., Салахутдинова И.И. Быстрое ступенчатое уменьшение магнитного потока активной области №12673 во время вспышки балла X9.3 // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 57. URL:

[https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

11. Головкин А.А., Салахутдинова И.И. Особенности структуры и динамики активной области № 12673, связанные со вспышками // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 23. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

12. Данильчук Е.И., Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В., Сергеева М.А. Сравнение экспериментальных оценок частоты девиации в различных условиях наблюдений // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 169. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

13. Дедюхина А.Д., Шамсутдинова Ю.Н., Дедюхин П.Б. Интернет-ресурсы для анализа наблюдений инструментов Радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 34. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

14. Демидов М.Л. Влияние эмпирических граничных условий на результаты прогноза космической погоды // Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения», посвященная 90-летию Ю.Н. Парийского. САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022: сборник тез. докл. Нижний Архыз, 2022. С. 82. URL: <https://multiface-sao.ru/doc/abs.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

15. Еселевич М.В., Гринин В.П., Потравнов И.С. О результатах спектральных наблюдений звезды типа WTTS V715 Per в молодом скоплении IC348 // Всеросс. конф. «Нестационарные процессы в протопланетных дисках и их наблюдательные проявления». 11–17 сентября 2022 г., Научный, Крым: тезисы докл. Научный, 2022. С. 20. URL: <http://disk2022.crao.ru/images/abstracts.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

16. Еселевич М.В., Лебедев В.П. Возможности радиооптического комплекса ИСЗФ СО РАН по наблюдению космических объектов // I Всеросс. научно-техн. конф. «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Гидрометеорологическое (метеорологическое) и геофизическое обеспечение», 14–15 ноября 2022г., Краснодарский край, г. Анапа : тезисы.

17. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Исследование влияния мощных взрывных процессов в активных областях на характер колебаний параметров магнитного поля в тени солнечных пятен // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 39. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

18. Зимовец И.В., Шарыкин И.Н., Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Колотков Д.Ю., Ступишин А. Предвспышечные пульсации с источниками вне активной области основной вспышки // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 41. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

19. Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Ступишин А., Анфиногентов С.А., Лукичева М., Шендрик А.В. Характерные особенности и наблюдаемые параметры горячих струй в нижней короне Солнца // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 64. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

20. Кальтман Т.И., Ступишин А., Анфиногентов С.А., Лукичева М., Накаряков В.М., Шендрик А.В., Овчинникова Н.Е. Микроволновые проявления процессов, связанных с горячими струями, по наблюдениям на РАТАН-600 // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 85. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

21. Каракотов Р.Р., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А. Оценка параметров sloshing-колебаний во вспышечных корональных петлях по данным наблюдений SDO/AIA // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 48. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

22. Каракотов Р.Р., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А. Статистическое исследование sloshing-колебаний во вспышечных корональных петлях // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2022». 22–26 августа 2022 г., КраО РАН (п. Научный): тезисы докл. 2022. URL: <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Karakotov.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

23. Кашапова Л.К., Куприянова Е.Г., Колотков Д.Ю., Рид Х.А.С., Кудрявцева А.В., Тан Ч. О возможных механизмах взаимосвязи микроволновых источников солнечных вспышек и всплесков в дециметровом и метровом радиодиапазонах // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 76. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

24. Кашапова Л.К., Жданов Д.А., Шамсутдинова Ю.Н. Особенности формирования микроволнового излучения залимбовой вспышки 29 мая 2020 года // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2022». 22–26 августа 2022 г., КраО РАН (п. Научный): тезисы докл. 2022. URL: <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Kashapova.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

25. Кашапова Л.К., Шамсутдинова Ю.Н., Zhang J., Жданов Д.А., Reid H.A.S. Особенности связи между микроволновым и метровым радиоизлучением во время события 3 июня 2021 года // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 50. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

26. Киселев В.И., Мешалкина Н.С., Гречнев В.В. Соотношения между параметрами спектров околоземных протонных возрастаний, всплесков жесткого рентгеновского излучения и скоростями КВМ // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 60. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

27. Киселев В.И., Гречнев В.В., Уралов А.М., Мышьяков И.И. Согласование наблюдательных проявлений ударных волн со сценарием их возбуждения импульсно ускоряющимся магнитным жгутом // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 72. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

28. Кичатинов Л.Л. Дифференциальное вращение и циклы активности звезд солнечного типа // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез.

докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 53. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

29. Когогин Д.А., Максимов Д.С., Насыров И.А., Шиндин А.В., Грач С.М., Емельянов В.В., Белецкий А.Б., Загретдинов Р.В. Предварительные результаты совместного анализа снимков ночного неба и двумерных карт вариаций полного электронного содержания в период регистрации подавления фонового свечения в линии 630 нм в экспериментах на стенде СУРА в августе–сентябре 2021 года // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 196. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

30. Костарев Д.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Продольное электрическое поле альфвеновской волны в дипольной магнитосфере: гирокинетический подход // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 139. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

31. Кузнецов А.А., Алтынцев А.Т., Сыч Р.А., Жданов Д.А., Мешалкина Н.С., Каракотов Р.Р. Первые многоволновые наблюдения двухленточной солнечной вспышки на Сибирском радиогелиографе // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 39. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

32. Кузнецов А.А., Nita G.M., Флейшман Г.Д., Анфиногентов С.А. Диагностика механизмов нагрева солнечной короны по многоволновым наблюдениям Сибирского радиогелиографа // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2022». 22–26 августа 2022 г., КрАО РАН (п. Научный): тезисы докл. 2022. URL: <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Kuznetsov.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

33. Кузнецов А.А., Лесовой С.В., Сыч Р.А., Алтынцев А.Т. Первые результаты наблюдений на Сибирском радиогелиографе // Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения», посвященная 90-летию Ю.Н. Парийского. САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022: сборник тез. докл. Нижний Архыз, 2022. С. 80. URL: <https://multiface-sao.ru/doc/abs.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

34. Кузнецов А.А., Doyle J.G., Алексеев И.Ю., Каракотов Р.Р. Поиск корональных выбросов массы на активных звездах с помощью радиотелескопа LOFAR // Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения», посвященная 90-летию Ю.Н. Парийского. САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022: сборник тез. докл. Нижний Архыз, 2022. С. 72. URL: <https://multiface-sao.ru/doc/abs.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

35. Купряков Ю.А., Горшков А.Б., Кашапова Л.К. Анализ спектров пульсаций хромосферного излучения солнечной вспышки SOL 2015-10-01 // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2022». 22–26 августа 2022 г., КрАО РАН (п. Научный): тезисы докл. 2022. URL: [https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Kupriakov\\_post.pdf](https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Kupriakov_post.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

36. Купряков Ю.А., Горшков А.Б., Кашапова Л.К. Анализ спектров пульсаций хромосферного излучения солнечной вспышки 01-10-2015 // Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения», посвященная 90-летию Ю.Н. Парийского. САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022: сборник тез. докл. Нижний Архыз, 2022. С. 83. URL: <https://multiface-sao.ru/doc/abs.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

37. Куприянова Е.Г., Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Колотков Д.Ю., Кузнецов А.А. Нелинейный отклик микроволнового излучения на линейную симметричную БМЗ волну // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 77. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

38. Куприянова Е.Г., Кашапова Л.К., Рид Х.А.С., Лонг Д., Жанг Дж. О взаимосвязях радиовсплесков III типа с источниками микроволнового и КУФ излучения во время слабой солнечной вспышки // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 65. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

39. Лебедев В.П., Еселевич М.В., Хахинов В.В., Кушнарв Д.С., Сетов А.Г., Клунко Е.В. Радиооптический комплекс ИСЗФ СО РАН для контроля космических объектов // VII Всеросс. научн. конф. «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды», посвященная 310-й годовщине со дня создания Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, 24–26 мая 2022 г., г. Санкт-Петербург: программа. СПб., 2022. URL: [https://vka.mil.ru/upload/site5/document\\_file/soGOyкY5Km.pdf](https://vka.mil.ru/upload/site5/document_file/soGOyкY5Km.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

40. Лебедев В.П., Еселевич М.В., Хахинов В.В., Кушнарв Д.С., Клунко Е.В. Результаты активных космических экспериментов «Плазма–Прогресс» и «Радар–Прогресс» // VII Всеросс. научн. конф. «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды», посвященная 310-й годовщине со дня создания Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, 24–26 мая 2022 г., г. Санкт-Петербург: программа. СПб., 2022. URL: [https://vka.mil.ru/upload/site5/document\\_file/soGOyкY5Km.pdf](https://vka.mil.ru/upload/site5/document_file/soGOyкY5Km.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

41. Лебедев В.П., Кушнарв Д.С., Сетов А.Г., Алсаткин С.С., Хахинов В.В., Медведев А.В. Опыт радиолокационных наблюдений космических объектов на Иркутском радаре некогерентного рассеяния // I Всеросс. научно-техн. конф. «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Гидрометеорологическое (метеорологическое) и геофизическое обеспечение», 14–15 ноября 2022 г., Краснодарский край, г. Анапа: тезисы.

42. Лебедев В.П., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Куркин В.И. Калибровка приемо-передающих трактов и антенно-фидерных устройств ЛЧМ - ионозонда с помощью БПЛА // VIII Микроволновая конференция. IEEE 8th All-Russian Microwave Conference, 23–25 ноября 2022 г., Москва, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН: тезисы. М., 2022. URL: <http://microwaveweek.ru/rmc/> (дата обращения: 10.01.2022).

43. Куприянова Е.Г., Кальтман Т.И., Кузнецов А.А. Модуляция микроволнового излучения симметричной БМЗ волной в условиях солнечной короны // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 66. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

44. Лесовой С.В., Губин А.В., Глоба М.В., Кочанов А.А., Алтынцев А.Т., Уралов А.М. Сибирский радиогелиограф — новые возможности исследования солнечной короны // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 21. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

45. Лесовой С.В., Глоба М.В., Губин А.В., Алтынцев А.Т. Изображающая спектроскопия (imaging spectroscopy) солнечной короны в микроволновом диапазоне // Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения», посвященная 90-летию Ю.Н. Парийского. САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022:

сборник тез. докл. Нижний Архыз, 2022. С. 120. URL: <https://multiface-sao.ru/doc/abs.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

46. Лесовой С.В., Алтынцев А.Т., Губин А.В., Глоба М.В., Анфиногентов С.А., Кузнецов А.А., Сваровский О.Ю., Осипов М.В., Сипайлов Д.А. Сибирский радиогелиограф – солнечный радиотелескоп нового поколения // Всеросс. радиоастрономическая конф. «Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии» (ВРК-2022). 19–23 сентября 2022 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. СПб., 2022. С. 39. URL: [https://iaaras.ru/media/docs/abstract\\_vrk2022.pdf](https://iaaras.ru/media/docs/abstract_vrk2022.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

47. Лысенко А.Л., Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Моторина Г., Жданов Д.А., White S.M., Флейшман Г.Д. Статистическое исследование «холодных» солнечных вспышек в микроволновом диапазоне // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 32. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

48. Магер О.В. Альфвеновские волны, генерируемые баунс-дрейфовой неустойчивостью в кольцевом токе // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 287. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

49. Медведева И.В., Ратовский К.Г., Толстиков М.В. Исследование межгодовых вариаций атмосферной и ионосферной изменчивости по данным спектрометрических и радиофизических наблюдений // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 203. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

50. Мельников В.Ф., Мешалкина Н.С., Жданов Д.А. Динамика спектра микроволнового излучения вспышек по данным Сибирского радиогелиографа // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 58. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

51. Мешалкина Н.С., Алтынцев А.Т. Об угловом рассеянии источников микроволнового излучения в нижней короне Солнца // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 28. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

52. Мешалкина Н.С., Мельников В.Ф. Расширение и сжатие системы вспышечных петель во время вспышки 15.01.2022 по данным в ультрафиолетовом и микроволновом диапазонах // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 76. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

53. Михайлова О.С., Смотрова Е.Е., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Резонансное взаимодействие УНЧ-волны с электронами, наблюдаемое зондом VAN ALLEN PROBE A // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 264. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

54. Мотык И.Д., Кашапова Л.К. Исследование вклада различных процессов на фазе спада солнечных и звездных вспышек // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.:

ИКИ РАН, 2022. С. 63. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

55. Мотык И.Д., Сетов А.Г., Шамсутдинова Ю.Н., Жданов Д.А., Кашапова Л.К. Исследование связи между микроволновым и метровым излучением всплеска на фазе спада круговой вспышки 22 мая 2021 по данным Сибирского радиогелиографа и Иркутского радара некогерентного рассеяния // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 80. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

56. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В. О соответствии динамики глобальной изолированной суббури статистической модели Мак-Феррона // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 129. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

57. Пипин В.В. О влиянии биполярных активных областей на динамо в конвективной зоне Солнца // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 2. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

58. Пономарчук С.Н. Развитие волноводного подхода для исследования КВ-радиотрасс // VIII Микроволновая конференция. IEEE 8th All-Russian Microwave Conference, 23–25 ноября 2022 г., Москва, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН: тезисы. М., 2022. URL: <http://microwaveweek.ru/rmc/> (дата обращения: 10.01.2022).

59. Потапов А.С., Гульельми А., Клайн Б.И. Анализ соотношения между дискретными частотами ИАР по наблюдениям в 24-м солнечном цикле // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 161. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

60. Потравнов И.С., Шаховской Д.Н., Ховричев М.Ю., Артеменко С.А. Переменная динамика ветра и джета звезды типа Т Тельца ВР Psc, как индикатор наличия мало массивного компаньона // Всеросс. конф. «Нестационарные процессы в протопланетных дисках и их наблюдательные проявления». 11–17 сентября 2022 г., Научный, Крым: тезисы докл. Научный, 2022. С. 31. URL: <http://disk2022.crao.ru/images/abstracts.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

61. Рубцов А.В., Nose M., Matsuoka A., Miyoshi Y. Распределение Pc4-5 волн в магнитосфере по данным спутника ARASE // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 268. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

62. Рубцов А.В., Михайлова О.С., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю., Ren J., Zong Q.G. Генерация дневных Pc4-5 пульсаций градиентной неустойчивостью по многоточечным спутниковым наблюдениям // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 278. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

63. Синевич А.А., Чернышов А.А., Чугунин Д.В., Ойнац А.В., Милох В.Я., Могилевский М.М. Мультиинструментальный подход к исследованию поляризационного джета // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 164. URL:

[https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

64. Ступишин А., Анфиногентов С.А., Кальтман Т.И. Морфологические характеристики и определение параметров плазменных струй во временных сериях изображений Солнца // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 66. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

65. Сыч Р.А., Алтынцев А.Т., Кузнецов А.А. Первые наблюдения 3-мин пятенных колебаний на Сибирском радиогелиографе в диапазоне частот 3–6 ГГц // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 79. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

66. Феденёв В.В., Анфиногентов С.А. Сравнительный анализ наблюдений Солнца на Сибирском радиогелиографе и радиотелескопе РАТАН-600 // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 84. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

67. Хайкин В.Б., Шиховцев А.Ю., Миронов А.П., Qian X. Результаты изучения астроклимата Агульского района горного Дагестана и районов АЛИ-1/АЛИ-2 на плато Тибет как возможных мест размещения Евразийских СубММ Телескопов (ESMT) // Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения», посвященная 90-летию Ю.Н. Парийского. САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022: сборник тез. докл. Нижний Архыз, 2022. С. 128. URL: <https://multiface-sao.ru/doc/abs.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

68. Хайкин В.Б., Шиховцев А.Ю., Миронов А.П., Худченко А.В., Копылов Е.А. Результаты и планы комплексного изучения астроклимата горы Курапдаг в Агульском районе Дагестана // Всеросс. радиоастрономическая конф. «Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии» (ВРК-2022). 19–23 сентября 2022 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. СПб., 2022. С. 68–69. URL: [https://iaaras.ru/media/docs/abstract\\_vrk2022.pdf](https://iaaras.ru/media/docs/abstract_vrk2022.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

69. Халипов В.Л., Леонович А.С., Сайбек Д. Каталог стабильных красных дуг Даниэля Барбье, зарегистрированных во время МГГ 1957–1959 г., и геофизические условия при их развитии // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 157. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

70. Халипов В.Л., Леонович А.С., Сайбек Д. Волновая турбулентность, как физический процесс, порождающий красные дуги с экстремальными значениями интенсивности свечения 20–150 кРл // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 288. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

71. Челпанов А.А. Oscillation Dynamics in Solar Faculae // Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения», посвященная 90-летию Ю.Н. Парийского. САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022: сборник тез. докл. Нижний Архыз, 2022. С. 81. URL: <https://multiface-sao.ru/doc/abs.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

72. Шамсутдинова Ю.Н., Zhang J., Жданов Д.А., Reid H.A.S., Кашапова Л.К. Изучение связи между микроволновыми и метровыми всплесками во время солнечной вспышки 3 июня 2021 года // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной

системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 64. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

73. Шамсутдинова Ю.Н., Сетов А.Г., Жданов Д.А., Кашапова Л.К. Первые результаты анализа серии всплесков на частоте 161 МГц 21–23 мая 2021 // XXVI Всеросс. ежегодная конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2022». ГАО РАН, Санкт-Петербург, 3–7 октября 2022 г.: тез. докл. СПб.: ГАО РАН, 2022. С. 114. URL: <http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2022/gao2022.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

74. Шамсутдинова Ю.Н., Жданов Д.А., Кашапова Л.К. Результаты исследования связи между микроволновыми и метровыми всплесками во время солнечной вспышки 3 июня 2021 года // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2022». 22–26 августа 2022 г., КРАО РАН (п. Научный): тезисы докл. 2022. URL: <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Shamsutdinova.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

75. Шамсутдинова Ю.Н., Жданов Д.А., Кашапова Л.К. О связи между микроволновым и метровым излучением во время солнечной вспышки 3 июня 2021 года // Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения», посвященная 90-летию Ю.Н. Парийского. САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022: сборник тез. докл. Нижний Архыз, 2022. С. 79. URL: <https://multiface-sao.ru/doc/abs.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

76. Шибалова А.С., Обридко В.Н., Соколов Д.Д., Пипин В.В., Лившиц И.М. Параметры зональных гармоник магнитного поля Солнца // Семнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 7–11 февраля 2022 г., Москва, ИКИ РАН: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2022. С. 13. URL: [https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook\\_v4.pdf](https://plasma2022.cosmos.ru/docs/2022/Plasma-2022-AbstractBook_v4.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

77. Шиховцев А.Ю., Хайкин В.Б., Ковадло П.Г. Статистики облачности и структурных характеристик атмосферных течений в регионах расположения Большого телескопа альт-азимутального (БТА) и Крупного солнечного телескопа (КСТ-3) // Всероссийская научная конференция «Многоликая Вселенная: теория и наблюдения», посвященная 90-летию Ю.Н. Парийского. САО РАН, Нижний Архыз, 23–27 мая 2022: сборник тез. докл. Нижний Архыз, 2022. С. 140. URL: <https://multiface-sao.ru/doc/abs.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

78. Шиховцев А.Ю., Хайкин В.Б., Ковадло П.Г. Статистические характеристики осажденного водяного пара и оптической толщи в районе расположения Большого телескопа альт-азимутального // Всеросс. радиоастрономическая конф. «Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии» (ВРК-2022). 19–23 сентября 2022 г., Санкт-Петербург: тезисы докл. СПб., 2022. С. 73. URL: [https://iaaras.ru/media/docs/abstract\\_vrk2022.pdf](https://iaaras.ru/media/docs/abstract_vrk2022.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

79. Ясюкевич Ю. В. Потенциал глобальных спутниковых систем для обеспечения информацией об эффектах космической погоды // VII Всероссийская научная конференция «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды», посвященная 310-й годовщине со дня создания Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, 24–26 мая 2022 г., г. Санкт-Петербург: программа. СПб., 2022. URL: [https://vka.mil.ru/upload/site5/document\\_file/soGOyK5Km.pdf](https://vka.mil.ru/upload/site5/document_file/soGOyK5Km.pdf) (дата обращения: 10.01.2022).

80. Ermakov V.Y., Lebedev V.P. Antenna pattern calibration using an UAV-based device // Multidisciplinary Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century». Irkutsk, 19 May 2022. Irkutsk, 2022. P. 6–7. URL: <https://isc.irk.ru/sites/default/files/2022-10/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

81. Pipin V.V., Kosovichev A.G., Tomin V.E. Model cycles 23 and 24 using mean field dynamo // Всеросс. астрономическая конф. с междунар. участием «Магнетизм и активность Солнца и звезд – 2022». 22–26 августа 2022 г., КрАО РАН (п. Научный): тезисы докл. 2022. URL: <https://sun.crao.ru/images/conference/2022/report/Pipin.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

82. Fedorov M. Operation of the navigation receiver under the influence of interference // Multidisciplinary Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century». Irkutsk, 19 May 2022. Irkutsk, 2022. P. 15–16. URL: <https://isc.irk.ru/sites/default/files/2022-10/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

83. Marchuk R., Potapov A.S., Mishin V.V. Ultra-short-period geomagnetic field pulses // Multidisciplinary Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century». Irkutsk, 19 May 2022. Irkutsk, 2022. P. 11–12. URL: <https://isc.irk.ru/sites/default/files/2022-10/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

84. Obytotky G.V., Tashchilin M. A. Investigation of variations in the aerosol optical depth based on satellite measurement data // Multidisciplinary Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century». Irkutsk, 19 May 2022. Irkutsk, 2022. P. 12–13. URL: <https://isc.irk.ru/sites/default/files/2022-10/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

85. Rubtsov A.V. Ultralow frequency waves research from case study to statistical analysis of spacecraft data // Multidisciplinary Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century». Irkutsk, 19 May 2022. Irkutsk, 2022. P. 13–14. URL: <https://isc.irk.ru/sites/default/files/2022-10/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

86. Shamsutdinova Yu.N., Zhdanov D.A., Kashapova L.K. Studying of the relationship between microwave- and meter-wavelength emission from flare on June 3, 2021 // Multidisciplinary Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century». Irkutsk, 19 May 2022. Irkutsk, 2022. P. 17. URL: <https://isc.irk.ru/sites/default/files/2022-10/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

87. Trofimov E.A. Experimental study of internal gravity waves // Multidisciplinary Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century». Irkutsk, 19 May 2022. Irkutsk, 2022. P. 14–15. URL: <https://isc.irk.ru/sites/default/files/2022-10/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

88. Vlasov A.A., Leonovich A.S., Kozlov D.A. Waves in the magnetosphere and their interaction with the plasma // Multidisciplinary Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century». Irkutsk, 19 May 2022. Irkutsk, 2022. P. 6. URL: <https://isc.irk.ru/sites/default/files/2022-10/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

89. Vyatkin A.N., Zorkaltseva O.S. Study of the large-scale air-sea interaction // Multidisciplinary Academic Research Conference «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century». Irkutsk, 19 May 2022. Irkutsk, 2022. P. 5–6. URL: <https://isc.irk.ru/sites/default/files/2022-10/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата обращения: 10.01.2022).

## **5.9. Тезисы докладов на международных, в том числе зарубежных, конференциях**

1. Borodkova N.L., Eselevich V.G., Sapunova O.V., Yermolaev Yu.I., Zastenker G.N. Fine structure of the interplanetary shock from the solar wind plasma measurements with high-time

resolution // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. D1.2-0053-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

2. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Methods for Registering Torsional Waves in the Lower Solar Atmosphere: Do Observations Support the Theory? // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. E2.3-0020-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

3. Chelpanov M., Mager P., Klimushkin D. ULF wave — electrons drift resonance observed with the MMS spacecraft // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. D3.1-0025-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

4. Demidov M.L., Hanaoka Y., Wang X., Kirichkov P. On the differences in the space weather forecasting caused by different low boundary conditions // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. D2.5-0007-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

5. Kitchatinov L.L. Theory of meridional flow and differential rotation // Solar and stellar dynamos: a new era. ISSI Workshop, 13–17 June 2022, Bern, Switzerland: Program. 2022. <https://www.issibern.ch/workshops/solsteldynamos/index.php/agenda/>.

6. Kosovichev A.G., Getling A.V., Guerrero G., Pipin V.V., Stefan J., Stejko A.M. Helioseismic monitoring of solar subsurface dynamics and activity // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. PoIS.1-0004-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

7. Kostarev D.V., Mager P., Klimushkin D. Gyrokinetic model of the Alfvén wave parallel electric field generation in the dipole model of the magnetosphere // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. D3.4-0024-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

8. Kuznetsov A.A., Nita G.M., Fleishman G.D., Anfinogentov S. Diagnosing coronal heating in solar active regions with multiwavelength radio observations // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. D1.5-0010-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

9. Kuznetsov A.A., Karakotov R.R., Chandrashekhar K., Banerjee D. X-ray and ultraviolet observations of flares on AT Microscopii with AstroSat // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. E1.5-0001-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

10. Marchuk R., Potapov A.S., Mishin V.V. Ultra-short-period pulses in ULF oscillations of the geomagnetic field and their relationship with thunderstorm activity // Physics of auroral phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 50. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

11. Mikhailova O.S., Smotrova E.E., Mager P. The resonant interaction of ULF wave with electrons according to Van Allen Probe A data // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. D3.1-0033-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

12. Mishin V.V., Klibanova Y., Mikhalev A.V., Penskiy Yu., Marchuk R. Bursts of geomagnetic pulsations and the night atmosphere airglow caused by solar wind pressure changes during the magnetospheric storm // Physics of auroral phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 12. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

13. Oinats A.V., Tolstikov M.V. Study of ionospheric irregularities using HF radars // Physics of auroral phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 52. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

14. Padokhin A., Yasyukevich Yu.V., Yasyukevich A., Kurbatov G., Vesnin A.M. Advantages of new GNSS signals and systems in ionospheric remote sensing // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. C0.2-0005-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

15. Pelinovsky E., Talipova T., Didenkulova E., Kaptsov O., Stepanyants Y., Churilov S.M., Didenkulova I. Travelling reflectionless waves in shallow water channels with variable

cross-section and current // EGU General Assambly. Vienna, Austria & Online, 23–27 May 2022: Abstracts. 2022. EGU22-1541. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-1541>.

16. Pipin V.V. Mean-field models of the solar dynamo // Solar and stellar dynamos: a new era. ISSI Workshop, 13–17 June 2022, Bern, Switzerland: program. 2022. <https://www.issibern.ch/workshops/solsteldynamos/index.php/agenda/>.

17. Plachinda S., Demidov M.L., Butkovskaya V., Logvinov D. A New Approach to Multiwavelength Observations of the Sun-as-a-Star Magnetic Field // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. E2.1-0057-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

18. Potravnov I.S., Mashonkina L.I., Ryabchikova T.A. BD+30°549: young chemically peculiar star in NGC1333 star forming region // Virtual International Conference “Alive Universe — from Planets to Galaxies”. Shamakhy, Y.Mammadaliyev settlement, ShAO, Azerbaijan. October 12–14, 2022: Abstracts. 2022. P. 28. [https://shao.az/uploads/Abstracts\\_last\\_2022.pdf](https://shao.az/uploads/Abstracts_last_2022.pdf).

19. Ratovsky K.G., Medvedeva I.V. Dependence of ionospheric variability on local time, season and geomagnetic activity level // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 53. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

20. Rubtsov A.V., Nose M., Matsuoka A., Miyoshi Y. An attempt to cluster Pc4-5 waves by magnetic field component amplitudes using Arase satellite data // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 30. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

21. Rubtsov A.V., Nose M., Matsuoka A., Miyoshi Y. Spatial distribution of Pc4-5 waves in the magnetosphere from Arase satellite magnetic field measurements // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July, Athenes, Greece: Abstracts. 2022. D3.1-0019-22. <https://www.cosparathens2022.org/>.

22. Sinevich A.A., Chernyshov A.A., Chugunin D.V., Oinats A.V., Miloch W.J., Morigilevsky M.M. A multi-instrumental approach to the study of the small-scale structure of a polarization jet // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 54. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

23. Smotrova E.E., Mikhailova O.S., Mager P. Resonance interaction between ULF-wave and electrons, observed by spacecraft Van Allen Probe A // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 31. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

24. Zhukova A.V., Khlystova A.I., Abramenko V., Sokoloff D.D. Temporal and latitudinal distribution of anti-Hale active regions in the synthetic solar cycle // Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”. 6–10 June 2022, Primorsko, Bulgaria: Book of Abstracts. 2022. P. 9. [https://www.spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf/AbstractBook\\_WS14\\_1.pdf](https://www.spaceclimate.bas.bg/ws-sozopol/pdf/AbstractBook_WS14_1.pdf).

25. Афанасьев Н.Т., Лукьянцев Д., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Диагностика случайной изменчивости ионосферы по данным декаметрового радиозондирования с высокоорбитальных ИСЗ // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Материалы. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.I.176. С. 357. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

26. Белецкий А.Б., Ткачев И.Д., Грач С.М., Насыров И.А., Шиндин А.В., Когогин Д.А., Васильев Р.В. Результаты фотометрии эмиссий атомарного кислорода 557,7 нм и 630 нм, индуцированных мощным коротковолновым радиоизлучением стенда СУРА во время развития спорадического слоя E // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.I.485. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

27. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Васильев Р.В., Татарников А.В., Подлесный С.В., Щеглова Е.С. Результаты расчета прозрачности атмосферы в темное время суток по данным оптических инструментов Национального Гелиогеофизического комплекса // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.D.475. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

28. Белюченко К.В., Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г. Связь модельных возмущений полного электронного содержания с  $AE$ -индексом геомагнитной активности во время геомагнитных бурь марта 2015г. // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 56. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

29. Власов А.А., Леонович А.С., Козлов Д.А. Поток сверхтепловых электронов, ускоряемых в ионосферу кинетическими альфвеновскими волнами и возможность формирования SAR arcs // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 33. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

30. Данильчук Е.И., Демьянов И.Д. Факторы, влияющие на точность определения частоты девиации в спектре мерцаний фазы трансionoсферного сигнала // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.I.112. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

31. Еселевич М.В., Коробцев И.В., Клунко Е.В., Мишина М.Н., Горяшин В.Е., Цуккер Т.Г. Фотометрические и траекторные наблюдения околоземных космических объектов в Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН // Научно-практическая конф. с международ. участием «Околоземная астрономия-2022»: Тезисы докл. 18–21 апреля 2022, Москва, ИКИ РАН, 2022. С. 5–6. <http://agora.guru.ru/display.php?conf=oza2022>.

32. Иванова В.А., Рыбкина А.А., Подлесный А.В., Поддельский А.И. Влияние рентгеновских солнечных вспышек на наиминимую наблюдаемую частоту КВ-радиосигналов // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.I.385. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

33. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Проявление эффектов геомагнитных бурь на высотах мезопаузы и F2-области ионосферы // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.I.415. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

34. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Цэгмэд Б., Казанцев Л.В. Геоэффективность диамагнитных структур эруптивных протуберанцев (ДСЭП) // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 17. <http://www.pgia.ru/seminar/>.

35. Саункин А.В., Зоркальцева О.С., Васильев Р.В. Климатология эмиссионного слоя 557.7 нм над югом Восточной Сибири // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.D.76. - <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

36. Серебренникова А.Б. Веб-модель мониторинга авроральной активности по данным глобальных навигационных спутниковых систем // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физи-

ческие основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.I.190. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

37. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б. Предварительные результаты наблюдений широкоугольных цифровых камер Национального гелиогеофизического комплекса // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.D.537. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

38. Толстикова М.В., Ойнац А.В., Артамонов М.Ф., Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследования связи перемещающихся ионосферных возмущений с нейтральным ветром по данным радаров когерентного рассеяния // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.I.67. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

39. Хабитуев Д.С. Особенности циркуляции стратосферного полярного вихря во время зимы 2020-2021гг. // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Тезисы докл. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.D.412. <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

40. Халипов В.Л., Леонович А.С., Сайбек Д. Волновая турбулентность, как физический процесс, порождающий красные дуги с экстремальными значениями интенсивности свечения 20-150 нм // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 35. <http://www.pgja.ru/seminar/>.

41. Халипов В.Л., Леонович А.С., Сайбек Д. Каталог стабильных красных дуг Даниэля Барбье, зарегистрированных во время МГГ 1957-1959 г. и геофизические условия при их развитии // Physics of Auroral Phenomena. 45th Annual Seminar, Apatity, 14–18 March, 2022: Abstracts. Apatity, 2022. P. 66. <http://www.pgja.ru/seminar/>.

42. Яковлева И.П., Тащилин М.А. Радиационные характеристики аэрозоля во время экстремальных пожаров 2019 г. по данным наземных и спутниковых измерений // Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)»: Материалы. 14–18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва, 2022. Ст. XX.D.79. С. 476. - <http://conf.rse.geosmis.ru/>.

## СОДЕРЖАНИЕ

Структура Института	3
1. Строительство и проектирование Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук.	5
1.1. О реализации проекта «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН»	5
1.2. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Радиогелиограф	6
1.3. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Оптические инструменты	9
1.4. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Солнечный телескоп-коронограф	12
2. Основные научные результаты	14
2.1. Исследования в области физики Солнца, радиоастрофизики и космических лучей	14
2.1.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности	14
2.1.1.1. Эффекты активности биполярных областей на крупномасштабное динамо в конвективной зоне	14
2.1.1.2. Зависимость циклов магнитной активности от эффективной температуры звезд солнечного типа	15
2.1.1.3. Структура и динамика магнитных полей при возникновении активных областей в период смены циклов солнечной активности 24 и 25	16
2.1.1.4. Влияние эмпирических граничных условий на результаты прогноза скорости солнечного ветра	17
2.1.2. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца	17
2.1.2.1. Наблюдательное подтверждение сценария возбуждения ударных волн в солнечной короне импульсно ускоряющимся магнитным жгутом	17
2.1.2.2. Идентификация механизмов ускорения солнечных космических лучей	18
2.1.2.3. Многоволновые наблюдения вспышек в звездной системе AT Mic	19
2.1.2.4. Динамика колебаний за время жизни факельной области	20
2.1.3. Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства	21
2.1.3.1. Оптические наблюдения космического мусора. Результаты анализа фотометрических характеристик	21
2.1.3.2. Исследование вклада каскадной эмиссии в послесвечение гамма-всплеска GRB 110213A	22
2.1.3.3. Джет загадочной высокоширотной звезды BP Psc и эволюционный статус источника	24
2.1.4. Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей	25
2.1.4.1. Расширение метода спектрографической глобальной съемки	25
2.1.4.2. Питч-угловая анизотропия и дифференциальные жесткостные спектры космических лучей во время GLE 2 и 6 мая 1998 г.	26

2.1.4.3. Условия прихода солнечных энергетических протонов на Землю после мощных вспышек на Солнце	27
2.1.4.4. Комплексы активности и корональные дыры на Солнце: феноменология связи	28
2.1.4.5. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН	29
2.2. Исследования в области физики околоземного космического пространства	29
2.2.1. Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн	29
2.2.1.1. Локальная эмпирическая модель ионосферной возмущенности	30
2.2.1.2. Автоматическая идентификация типов рассеянных сигналов на данных радаров ЕКВ и MAGW ИСЗФ СО РАН самообучившейся нейронной сетью	31
2.2.1.3. Исследование смещения аврорального овала во время магнитных бурь по данным ГНСС	32
2.2.1.4. Программно-аппаратный комплекс оперативного контроля формы диаграммы направленности Иркутского радара некогерентного рассеяния	33
2.2.1.5. Измерение диаграммы направленности антенны методом облета с привлечением беспилотного летательного аппарата	34
2.2.1.6. Метод оценки меридиональной и зональной скорости нейтрального ветра по статистике наблюдений двумерного вектора фазовой скорости внутренних гравитационных волн	35
2.2.1.7. Связь возмущений полного электронного содержания с АЕ-индексом геомагнитной активности	36
2.2.1.8. Развитие методов высокоточного позиционирования на основе глобальных навигационных спутниковых систем	37
2.2.1.9. Экспериментальное исследование полного вектора скорости перемещающихся ионосферных возмущений	38
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	40
2.2.2.1. Модель распространения КВ радиоволн на основе волноводного подхода	40
2.2.2.2. Возвратно-наклонное зондирование ионосферы непрерывным ЛЧМ сигналом	41
2.2.2.3. Исследование влияния слабых магнитных бурь на условия распространения КВ-радиоволн	42
2.2.2.4. Исследование отклика среднеширотной ионосферы Северного полушария на магнитные бури в марте 2012 года	43
2.2.2.5. Исследование влияния стратосферной циркуляции на среднемасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения (СМ ПИВ) по данным наклонного зондирования (НЗ) ионосферы	45

2.2.2.6. Крупномасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения, зарегистрированные по данным наклонного зондирования во время магнитных бурь в 2006–2011 гг.	45
2.2.2.7. Имитационное моделирование ионограмм вертикального зондирования	46
2.2.2.8. Мелкомасштабные неоднородности в области поляризационного джета /субаврорального дрейфа ионов (PJ/SAID) во время геомагнитной бури	47
2.2.2.9. Система мониторинга ионосферного полного электронного содержания на базе сигналов ГНСС (MITIGATOR)	48
2.2.3. Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий	49
2.2.3.1. Анализ долговременных вариаций теплосодержания Мирового океана методом естественных (эмпирических) ортогональных функций	49
2.2.3.2. Изменение пространственного распределения отклика теплосодержания Мирового океана на вариации магнитного поля Солнца	50
2.2.3.3. Межгодовые вариации атмосферной и ионосферной изменчивости в 24-м солнечном цикле	50
2.2.3.4. Отклик системы "ионосфера - термосфера" в средних широтах Евразии на геомагнитные бури в марте 2012 г.	52
2.2.3.5. Сезонные проявления геомагнитной активности на высотах слоя F1 на станции Иркутск (2004-2014 гг.)	53
2.2.3.6. Эффекты геомагнитных возмущений в поведении дневной электронной концентрации слоя F1 на станции Норильск	55
2.2.3.7. Сибирская сеть SibNet приемников ГНСС: мониторинг ионосферы и геодинамические исследования	55
2.2.3.8. Поведение ионосферы во время Кударинского землетрясения 9 декабря 2020 г	56
2.2.3.9. Исследование точности операционных ионосферных моделей	57
2.2.3.10. Струйное течение и характеристики волновых возмущений в зимней стратосфере и нижней мезосфере северного полушария	58
2.2.4. Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике	59
2.2.4.1. Реакция излучения верхней атмосферы Земли на Хубсугульское землетрясение 11 января 2021 года	59
2.2.4.2. Оптические эффекты полета ракеты-носителя «Протон-М» со спутником «Ямал-601» в дальней от места старта зоне	60
2.2.4.3. Излучение эмиссии 557.7 нм, индуцированное мощным радиоизлучением стенда СУРА на высотах спорадического слоя E	61
2.2.4.4. Методика исследования инфразвуковых волн от гроз	62
2.2.4.5. Нормальные моды как причина крупномасштабных колебаний в тропосфере и стратосфере	62

2.2.4.6. Исследование условий наблюдений в оптических обсерваториях ИСЗФ СО РАН	64
2.2.4.7. Цветовые и спектральные характеристики долгоживущего метеорного следа, образованного Тункинским болидом	65
2.2.4.8. Оптические эффекты работы двигателей космических аппаратов на высотах нижней термосферы	65
2.2.4.9. Морфология перемещающихся волновых возмущений интенсивности свечения атомарного кислорода 630 нм регистрируемых над Восточной Сибирью	66
2.2.5. Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера	67
2.2.5.1. Резонансная генерация альфвеновской волны облаком электронов, инжектированных во время суббури: исследование по данным зонда Van Allen	67
2.2.5.2. Современное состояние теории УНЧ-пульсаций диапазона Pc1 в плазме магнитосферы с тяжелыми ионами: обзор	68
2.2.5.3. Определение поперечной структуры монохроматических альфвеновских волн по фазовому сдвигу между компонентами их электромагнитного поля	69
2.2.5.4. Дискретный спектр УНЧ-колебаний ионосферы	70
2.2.5.5. Безотражательное распространение внутренних волн в канале переменного сечения при наличии течения	71
2.2.5.6. Возмущения второго порядка в альфвеновских волнах в плазме с давлением	72
2.2.5.7. Затухание начальных возмущений в сдвиговых течениях невязкой жидкости	72
2.2.5.8. Численный анализ пространственной структуры альфвеновских волн в плазме конечного давления в дипольной магнитосфере	73
2.2.5.9. Структура групп собственных частот в спектрах геомагнитных пульсаций ночной стороны магнитосферы	74
2.2.5.10. Взаимодействие ультранизкочастотных волн в магнитосфере с энергичными электронами: анализ данных спутниковой миссии Magnetospheric Multiscale Mission	75
2.2.5.11. Применение данных камеры всего неба для исследования явлений, протекающих в магнитосфере	76
2.2.5.12. Влияние плазмосферы на пространственное распределение УНЧ-волн в магнитосфере Земли	76
2.2.5.13. Генерация дневных долгопериодных УНЧ-пульсаций градиентной неустойчивостью по многоточечным спутниковым наблюдениям	77
2.2.5.14. Изменение функции распределения потоков холодных частиц под действием параллельного электрического поля альфвеновской волны	77
2.2.5.15. Всплески геомагнитных пульсаций и излучения ночной атмосферы, вызванных изменениями давления солнечного ветра в ходе магнитосферной бури	78
2.2.5.16. Метод диагностики проводимости ионосферы с помощью наблюдений магнитосферных УНЧ-волн	79

2.2.5.17. Метод диагностики авроральных овалов в двух полушариях Земли на основе техники инверсии магнитограмм	79
2.2.5.18. Алгоритм поиска границ аврорального овала	80
2.2.5.19. Отклик магнитосферы на вариации межпланетного магнитного поля во время магнитосферной бури	80
2.2.5.20. Сравнение ионосферных распределений продольных токов и полярных сияний по данным техники инверсии магнитограмм и IMAGE FUV для суббури 27 августа 2001 г.	80
2.2.6. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля	81
2.2.6.1. Исследование магнитных свойств тени солнечных пятен	81
2.2.6.2. Кинематические характеристики stealth-KBM в трехмерном пространстве	82
2.2.6.3. Воздействие комплексного возмущения магнитосферы в феврале 2014 г. на глобальное электронное содержание	83
2.2.6.4. Приложение теории графов для ионосферных исследований	84
2.2.6.5. Успехи и вызовы в наблюдениях глобальной динамики Солнца и солнечного динамо	85
2.2.6.6. Воздействие космической погоды на функционирование глобальных навигационных спутниковых систем	86
2.3. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики	87
2.3.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента	87
2.3.1.1. Развитие технологической базы изготовления монохроматических фильтров для исследования Солнца	87
2.3.1.2. Повышение качества получаемых на СРГ данных	89
2.3.1.3. Двухпиковые квазипериодические пульсации в круговой ленточной вспышке по данным микроволновых наблюдений	90
2.3.1.4. Изучение астроклиматических характеристик и проблем улучшения качества изображений крупных солнечных телескопов	91
2.3.1.5. Создание широкоугольного зеркального объектива	99
3. Работа обсерваторий, Центра коллективного пользования «Ангара», уникальных научных установок	92
3.1. Байкальская астрофизическая обсерватория	92
3.2. Саянская солнечная обсерватория	94
3.3. Радиоастрофизическая обсерватория	96
3.4. Геофизическая обсерватория	98
3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы	100
3.6. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория	102
3.6.1. Магнитная обсерватория	102
3.6.2. Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория	104
3.7. Норильская магнитно-ионосферная станция	105

3.7.1. Выносной наблюдательный пункт Исток	106
3.8. Пункты ионосферных наблюдений «Арти» и «Магадан»	107
3.9. Центр коллективного пользования «Ангара»	108
3.10. Уникальные научные установки	109
3.10.1. Сибирский солнечный радиотелескоп	109
3.10.2. Иркутский радар некогерентного рассеяния	111
3.10.3. Большой солнечный вакуумный телескоп	113
4. Научно-организационная деятельность	114
4.1. Общие сведения	114
4.2. Деятельность Ученого совета	116
4.3. Деятельность диссертационного совета	117
4.4. Международное сотрудничество	118
4.5. Издательская деятельность	120
4.6. Работа библиотеки	121
4.7. Образовательная деятельность	122
4.8. Работа с вузами	125
4.9. Работа Научно-образовательного центра	126
4.10. Работа музея ИСЗФ СО РАН	127
4.11. Работа Совета научной молодежи Института	128
4.12. Проведение научных мероприятий	130
4.13. Участие в выставках	134
4.14. Участие в научных мероприятиях	134
4.14.1. Российские	134
4.14.2. Международные	135
5. Публикации	136
5.1. Российские издания	136
5.2. Зарубежные издания (включая переводные)	139
5.3. Монографии	147
5.4. Результаты интеллектуальной деятельности	147
5.5. Электронные издания	148
5.6. Доклады на российских конференциях	148
5.7. Доклады на международных, в том числе зарубежных, конференциях	151
5.8. Тезисы докладов на российских конференциях	158
5.9. Тезисы докладов на международных, в том числе зарубежных, конференциях	168
Содержание	173

Отв. редактор *И.И. Салахутдинова*  
Редакторы *Н.О. Волкова, М.В. Никонова*  
Технические редакторы *М.В. Никонова, Н.О. Волкова*

\*\*\*\*\*

Сдано в набор 20.12.2022 г. Подписано к печати 21.03.2023 г.  
Формат 60×90 1/8. Гарнитура *Times New Roman*.  
Усл. печ. л. 22,37. Уч.-изд. л. 26,85. Тираж 10. Заказ № 716.

\*\*\*\*\*

***Отпечатано в издательском отделе ИСЗФ СО РАН,  
Иркутск, Лермонтова 126А, а/я 291,  
и в ИП Юмашев Олег Николаевич,  
664001, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1***