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

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В 2023 г.



Иркутск, 2024

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

Директор Института — чл.-корр. РАН А.В. Медведев. Научный руководитель Института — академик РАН Г.А. Жеребцов.

Основные научные направления Института:

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

– физика околоземного космического пространства: физика магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы; изучение магнитосферно-ионосферно-атмосфернолитосферных 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

Руководитель отдела — д.ф.-м.н. В.И. Куркин

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

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

• Лаборатория развития новых методов радиофизической диагностики атмосферы

(зав. лаб. — к.ф.-м.н. К.Г. 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

Руководитель отдела — 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	члкорр. РАН А.В. Медведев
Научный руководитель	академик РАН Г.А. Жеребцов
Первый заместитель директора	д.фм.н. С.В. Олемской
Заместитель директора по научно-исследовательской работе	д.фм.н. М.Л. Демидов к.фм.н. С.В. Лесовой
Заместитель директора по научной работе и инновационной деятельности	к.фм.н. В.В. Хахинов
Руководитель научного направления по физике Солнца	члкорр. РАН В.М. Григорьев
Руководитель научного направления по радиоастрофизике	д.фм.н. А.Т. Алтынцев
Зам. директора по капитальному строительству	П.В. Фадеев
Заместитель директора по общим вопросам	В.М. Алешков
Ученый секретарь	к.фм.н. И.И. Салахутдинова
Адрес: Телефон: Факс: e-mail; web:	664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.126-A (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. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Радиогелиограф

В 2023 г. были выполнены следующие работы, предшествующие запуску Радиогелиографа в эксплуатацию:

• разработано программное обеспечение (ПО) управления антеннами диапазонов 3– 6, 6–12 и 12–24 ГГц;

• определены и учтены отклонения осей опорно-поворотных устройств антенн всех диапазонов, что обеспечило точность сопровождения Солнца в пределах 3 угл. мин;

• определены ошибки в положении антенн, учитываемые при остановке интерференционных лепестков, с точностью до половины рабочей длины волны;

• разработано ПО диагностики текущего состояния приводов и облучателей антенн всех диапазонов;

• доработана методика определения задержек в линиях передачи сигналов от антенн в рабочее здание;

• проведено тестирование образцов доработанных облучателей диапазона 12–24 ГГц, а затем тестирование всей антенной решетки 12–24 ГГц;

• проведена доработка ПО сбора и хранения данных Радиогелиографа;

• проведена серия тестовых наблюдений на решетках 3–6 и 6–12 ГГц в течение всего года, на решетке 12–24 ГГц — начиная с октября 2023 г.

Работы позволили подготовить Радиогелиограф к запуску в эксплуатацию. Ниже содержание этих работ раскрывается подробнее.

Альт-азимутальные монтировки антенн, выбранные для опорно-поворотных устройств Радиогелиографа, позволяют естественным образом учесть ошибки в конструкции или положении антенн. Для этого для каждой антенны нужно рассчитать таблицу сопровождения наблюдаемого объекта и загрузить ее в контроллер управления приводом антенны. Таким образом, можно скорректировать точность сопровождения Солнца антенной без проведения механических юстировок опорно-поворотных устройств. ПО управления антеннами обеспечивает расчет, загрузку таблиц сопровождения и собственно само сопровождение путем передачи последовательности команд контроллерам привода антенн по протоколу SNMP.

Точность сопровождения антенной наблюдаемого объекта обусловлена отклонениями осей опорно-поворотных устройств, выносом облучателя, рефракцией. Эти параметры учитываются при расчете таблиц сопровождения. Для определения отклонения осей и выноса облучателей проводятся тестовые наблюдения с меняющимися по заданному закону отклонениями углов наведения. Аппроксимация полученных зависимостей позволяет определить искомые ошибки.

Аппроксимация функций видности, получаемых парами антенн избыточной решетки, позволяет определить ошибки в положении антенн, приводящие к отклонениям векторов, описывающих положение пары антенн в спектральной плоскости. Такие ошибки приводят к снижению динамического диапазона изображения и должны быть учтены. Особенно это важно для процедуры остановки интерференционных лепестков, выполняемой в реальном времени.

Контроллеры антенн Радиогелиографа способны по запросу оператора передавать обширную телеметрию. Количество антенн Радиогелиографа таково, что поток данных телеметрии становится большим и требуется автоматизация сбора телеметрии, диагностики и выдачи визуальной информации операторам. Эти функции реализует ПО диагностики текущего состояния антенн.

Различные времена распространения сигнала от антенн до приемников обусловлены

прежде всего различными длинами оптических кабелей, что приводит к комбинационным ошибкам в функциях видности. Ошибки такого рода снижают достоверность результатов алгоритмов калибровки коэффициентов передачи антенн — основной задачи при анализе радиоастрономических данных. Поэтому задержки должны быть измерены и учтены до вычисления функций видности коррелятором. Измерения задержек осуществляется в тестовом режиме наблюдений путем аппроксимации отклика пары антенн на линейное изменение задержки. Полученные результаты загружаются в цифровые приемники Радиогелиографа перед наблюдениями.

Тестирование образцов доработанных облучателей диапазона показало, что чувствительность улучшилась в среднем в три раза относительно первого варианта облучателей. Новые облучатели позволили проводить калибровки видностей на всех избыточных базах антенной решетки 12–24 ГГц. После установки новых облучателей на все антенны диапазона 12–24 ГГц и проведения тестовых наблюдений был сделан вывод, что решетка 12–24 ГГц соответствует ТЗ.

На рис. 1.1.1 показаны изображения Солнца, полученные тремя антенными решетками Радиогелиографа.



SRH 2023-09-19

Рис. 1.1.1. Изображения Солнца, полученные тремя антенными решетками Радиогелиографа на частотах 3.0, 6.0 и 12.2 ГГц с разрешением 25, 18 и 10 угл. сек. Верхняя панель — интенсивность, нижняя — круговая поляризация

На рис. 1.1.2 показаны составное RGB-изображение Солнца, полученное в диапазоне 3–24 ГГц (R:3–6, G:6–12, B:12–24), и спектры микроволнового излучения выделенных источников. По таким спектрам можно оценивать механизм излучения данного источника и измерять магнитное поле в переходном слое от хромосферы к короне в окрестности данного источника.



Рис. 1.1.2. Составное (R:3–6, G:6–12, B:12–24) изображение Солнца, полученное тремя антенными решетками Радиогелиографа с разрешением от 25 до 5 угл. сек. (слева), а также спектры микроволнового излучения выделенных источников (справа): красная линия — правая круговая поляризация, синяя — левая

Одна из задач Радиогелиографа — получение трехмерных моделей корональной плазмы. Важность этой задачи обусловлена тем, что солнечная корона трехмерна. Такая задача решается путем моделирования выделенного участка короны с учетом микроволновых спектров, полученных в каждой точке солнечного диска. Высота на уровне фотосферы, дающая наибольший вклад в излучение на данной частоте, связана с распределением плотности и температуры электронов, а также с распределением магнитного поля в короне. Критерием достоверности модели должно быть совпадение модельного отклика Радиогелиографа с реальным. Сами по себе микроволновые изображения, полученные на разных частотах, весьма опосредованно связаны с распределением плотности, температуры и поля по высоте. Но схематичное представление микроволновых спектров (рис. 1.1.3), полученных по всем диску Солнца, очень информативно и может использоваться для представления данных, поскольку наглядно показывает пространственную сложность и переменчивость источников микроволнового излучения.



Рис. 1.1.3. Схематичное 3D-представление микроволновых спектров, полученных в каждой точке солнечного диска с помощью Радиогелиографа: красные контуры — правая круговая поляризация, синие — левая. Высота над диском пропорциональна частоте: самая малая высота соответствует 24 ГГц, самая большая — 3 ГГц. Шаг по высоте пропорционален яркостной температуре источника

1.2. Оптические инструменты

1.2.1. Визуализация результатов наблюдений широкоугольными камерами оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий, Т.Е. Сыренова.

Создан электронный ресурс для визуализации данных широкоугольных камер всего неба, работающих в составе Оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса (НГК) РАН. В настоящее время электронный ресурс доступен с внутренних адресов ИСЗФ СО РАН. После тестирования, отладки и обеспечения необходимыми нормативными документами ресурс будет открыт для публичного использования. Камеры всего неба делают фотоснимки каждую ночь один раз в минуту в различных спектральных диапазонах. При исследованиях событий в верхней атмосфере приходится анализировать интервалы времени длительностью от нескольких часов до недель, поэтому основными идеями, заложенными в ресурс, являются, с одной стороны, минимизация количества элементов для просмотра, а с другой — наиболее детальное представление о пространственном распределении свечения неба на некотором длительном временном интервале.

Для этой цели используется интерфейс в виде календаря (рис. 1.2.1) с возможностью выбора конкретного устройства и спектральной линии, в которой ведутся наблюдения. После выбора устройства, года, месяца и спектральной линии появляется возможность просмотреть кеограммы — двумерные пространственно-временные распределения интенсивности свечения в зональной и меридиональной плоскостях (тепловая карта на рис. 1.2.1). Кеограммы дают возможность составить представление о поведении интенсивности в выбранную дату и оценить условия наблюдений (присутствие Луны, облачности, фоновой засветки и т. п.).



Рис. 1.2.1. Страница запроса данных широкоугольных камер всего неба

На рис. 1.2.1 приведена кеограмма, отражающая пространственную и временную динамику свечения во время геомагнитной бури 5 ноября 2023 г. Можно заметить вариации свечения у северного горизонта, их смещение в сторону зенита и значительное уярчение всего поля зрения во время суббури.

После выбора конкретной даты ресурс переводит пользователя на страницу предварительного просмотра, выбора и сохранения фотоснимков (рис. 1.2.2), на которой можно бегло просмотреть предварительно обработанные изображения неба. Страница просмотра и выбора изображений содержит вертикальный список с датированными фотоснимками, кеограмму для выбора момента времени и элементы управления, позволяющие выбрать и сохранить изображение.

На верхней панели рис. 1.2.2 представлен первый фотоснимок из серии ночных наблюдений, на котором отчетливо видны диффузное свечение левой нижней части поля зрения от заката Солнца, засветка от близлежащих населенных пунктов (группы ярких пикселов по кромке поля зрения в левой и правой нижних частях снимка), а также диффузное свечение северного горизонта в верхней части поля зрения, вызванное действующей геомагнитной бурей. Кроме этого, отчетливо видны звезды, планеты и Млечный путь, вытянутый вдоль диагонали от нижнего левого до верхнего правого угла снимка.



Рис. 1.2.2. Страница предварительного просмотра выбора и сохранения изображений: вверху — фото начала наблюдений, внизу — суббуревое увеличение интенсивности, размытое облачностью

На нижней панели рис. 1.2.2 расположен снимок начала суббури. Несмотря на значительный подъем интенсивности свечения на кеограмме, в этот момент условия наблюдений ухудшились из-за облачности, закрывшей поле зрения.

Созданный ресурс в настоящее время позволил провести предварительный отбор событий разного плана. Начиная с марта 2021 г. по октябрь 2023 г. по данным камер всего неба зарегистрировано 10 геомагнитных бурь с *Dst* от -60 до -212 нТл. Согласно классификации [Gonzalez et al., 1999], по значению индекса *Dst* в минимуме пять бурь можно отнести к умеренным, четыре — к интенсивным, одну (2023.04.23) к экстрабурям. В восьми случаях удалось пронаблюдать SAR-дуги. Кадры, содержащие пространственное распределение свечения во время среднеширотных сияний, приведены на рис. 1.2.3.



Рис. 1.2.3. Снимки в линии эмиссии кислорода OI 630 нм среднеширотных сияний (верхний ряд), содержащих помимо дифузного свечения SAR-дуги, полученные (слева направо): 2022-01-14 в 23:19:00 UT, 2022-09-04 в 17:41:00 UT, 2023-03-24 в 16:00:00 UT. Снимки, полученные в условиях экстрабури 2023-04-23 в 19:53:00 UT (нижний ряд) в линиях 557.7 нм (слева), 630 нм (в центре), 428 нм (справа) По кадрам камер всего неба наблюдались как среднеширотные сияния (свечения в северной области изображений), так и события, которые можно отнести к SAR-дугам. Средние скорости перемещения SAR-дуг в сторону экватора составили около 40–70 м/с (для высоты 400 км). Это согласуется с данными [Roach, Roach, 1963] для красных дуг, перемещающихся к экватору, и попадает в характерный диапазон скоростей 5–80 м/с.

С использованием ресурса в полуавтоматическом режиме была выполнена идентификация волновых вариаций интенсивности свечения по данным широкоугольных камер. В результате обработки накопленных данных с марта 2021 по октябрь 2023 г. зарегистрировано 44 волновых события. Волновые возмущения преимущественно распространялись на северо-запад (рис. 1.2.4).



Рис. 1.2.4. Волновые вариаций интенсивности в линиях эмиссии кислорода OI 630 нм (слева) и 557.7 нм (справа)

Полученные данные наблюдений легли в основу двух заявок на гранты РНФ.

Первая: «Исследование структуры, динамики и механизмов формирования среднеширотных сияний на основе данных оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса» (Белецкий А.Б., ИСЗФ). Основной задачей проекта является комплексное исследование среднеширотных сияний на основе оптических, магнитометрических и радиофизических наземных данных ИСЗФ СО РАН. Исследование будет проводиться с привлечением экспериментальных данных Комплексной магнитноионосферной станции (КМИС) ИСЗФ СО РАН (г. Норильск, 88°21'32'' в.д. 69°21'41'' с.ш.) и пункта Исток ИСЗФ СО РАН (88°00'34'' в.д., 70°01'49'' с.ш.) и спутниковых данных о потоках частиц, электронной плотности и температуре.

Вторая: «Комплексное мультиинструментальное исследование перемещающихся возмущений в среднеширотной ионосфере Земли» (Ойнац А.В., ИСЗФ). Проект направлен на решение фундаментальной научной проблемы взаимодействия ионизированной и нейтральной частей атмосферы, включая воздействие со стороны нижележащих слоев, а также магнитосферы Земли.

Публикации:

Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Яковлева И.П., Васильев Р.В., Татарников А.В., Щеглова Е.С., Костылева Н.В. Использование широкоугольных камер Национального гелиогеофизического комплекса для мониторинга прозрачности атмосферы в ночное время. Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: тез. докл. XIV Рос.-Монг. междунар. конф. / Ин-т земной коры СО РАН, Ин-т солн.-зем. физики СО РАН. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 16.

Мониторинг прозрачности атмосферы в темное время суток по данным оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса / А.Б. Белецкий, Т.Е. Сыренова, М.А. Тащилин [и др.] // Атмосферная радиация и динамика (МСАРД-2023): Сборник трудов Международного симпозиума, Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 года. Санкт-Петербург: ООО «Издательство BBM», 2023. С. 54–57. EDN WSUTAR.

Артамонов М.Ф., Васильев Р.В. Модельные представления параметров атмосферы в контексте наземных наблюдений интерферометром Фабри — Перо // Тезисы Международного симпозиума по атмосферной радиации и динамике (МСАРД-2023), СПБГУ, 21–24 июня 2023 г. С. 245–246

Tkachev I.D., Vasilyev R.V., Poletaev A.S., Chensky A.G.// Thunderstorm activity monitoring in the Baikal natural area // 46-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений», 13–17 марта 2023 г. URL: http://pgia.ru/seminar/abstracts_2023.pdf.

Shelkov A., Vasilyev R., Artamonov M. Research of airglow intensity using data acquired by Irkutsk Scattering Radar and Fabri–Perot interferometers // Physics of Auroral Phenomena. 46th Annual Seminar Abstracts. March 2023. P. 67.

Литература:

Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Clúa de Gonzalez A.L. Interplanetary origin of geomagnetic storms // Space Sci. Rev. 1999. Vol. 88, iss. 3-4. P. 529–562. DOI: 10.1023/A:1005 160129098.

Roach F.E., Roach J.R. Stable 6300 A auroral arcs in midlatitudes // Planet. Space. Sci. 1963. Vol. 11, no. 5. P. 523.

1.3. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Солнечный телескопкоронограф

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-коронограф (СТК) — проект современного телескопа для изучения Солнца и солнечной активности. Планируемые сроки реализации проекта — 2023–2030 гг. В 2023 г. начато строительство Солнечного телескопа-коронографа. На строительной площадке в Саянской солнечной обсерватории 5 августа 2023 г. был заложен первый камень (рис. 1.3.1).



Рис. 1.3.1. Саянская солнечная обсерватория. Установка первого камня на строительной площадке Солнечного телескопа-коронографа

Солнечный телескоп-коронограф за счет крупной апертуры диаметром 3 м обеспечит возможность 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 пробега фотона 70 км и высотой однородной атмосферы 100–140 км. В оптическом диапазоне 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 охватывает 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 на построение трехмерной структуры атмосферы Солнца с высоким разрешением. СТК позволит осуществлять:

• многоволновые измерения вектора магнитного поля и движений плазмы;

- наблюдения с высоким спектральным разрешением;
- наблюдения с высоким пространственным разрешением;

• одновременные наблюдения до 10 спектральных линий при длительности эксперимента 8 ч;

• одновременные наблюдения до 20 спектральных линий.

Солнечный телескоп-коронограф, таким образом, будет отвечать требованиям актуальных задач физики Солнца в перспективе 20 лет.

2. Основные научные результаты

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

2.1.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности

2.1.1.1. Модель динамо изменчивости циклов активности и глобальных минимумов для подобных Солнцу звезд: зависимость от скорости вращения

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

Наблюдения обнаруживают зависимость магнитной активности подобных Солнцу звезд от скорости их вращения. Медленно вращающиеся звезды показывают либо циклы активности, либо постоянно низкую активность, похожую на глобальный минимум Маундера на Солнце, в то время как для молодых быстро вращающихся звезд характерна высокая активность с нерегулярными циклами и отсутствие глобальных минимумов.

Для объяснения модель динамо изменчивости солнечных циклов применена к звездам солнечной массы, вращающимся с различными скоростями. Согласованные расчеты дифференциального вращения и динамо показали нерегулярные магнитные циклы и отсутствие глобальных минимумов для звезд с периодом вращения меньше 10 сут и циклическую активность с эпизодами глобальных минимумов для звезд, вращающихся медленнее. Частота и характерная продолжительность глобальных минимумов в модельных расчетах возрастают с периодом вращения звезды. Такое поведение согласуется с наблюдениями и объясняется возрастанием величины альфа-эффекта теории динамо с увеличением скорости вращения (рис. 2.1.1.1).



Рис. 2.1.1.1.1. Число глобальных минимумов за 11 тыс. лет и их продолжительность в расчетах динамо для звезд с различными периодами вращения

Публикация:

Vashishth V., Karak B.B., Kitchatinov L.L. Dynamo modelling for cycle variability and occurrence of grand minima in Sun-like stars: Rotation rate dependence // MNRAS. 2023. Vol. 522. P. 2601. DOI: 10.1093/mnras/stad1105.

2.1.1.2. Нелокальные эффекты в динамо солнечного типа

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

Двухмасштабное приближение, при котором считается, что масштабы вариаций средних полей намного превышают масштабы турбулентности, лежит в основе современных моделей солнечного динамо. Для нелокальной турбулентной ЭДС ее связь со средним магнитным полем не ограничена первыми производными, а может быть описана уравнением типа реакция — диффузия. Показано, что учет нелокальности турбулентной ЭДС приводит к следующему: 1) понижение порога динамо-неустойчивости; 2) возможность множественной динамо-неустойчивости различных мод с разными периодами и разной

локализацией; 3) нелинейное решение в нелокальном динамо допускает комбинацию колебательных и постоянных мод с разной локализацией и долговременной модуляцией магнитной активности.

Диаграммы широта — время показывают, что в верхней половине конвективной зоны динамо имеет солнечный тип и длиннопериодическую модуляцию. Эта модуляция вызвана интерференцией динамо-волн разных периодов. Вблизи дна конвективной зоны основная мода имеет продолжительность ~100 лет и смещается из средних широт к полюсам. Данная мода также модулирована коротким периодом главного цикла динамо-волны ~40 лет. Динамо-волны с основным периодом порядка солнечного цикла получаются для закритических значений динамо-числа (рис. 2.1.1.2.1).



Рис. 2.1.1.2.1. Широтно-временные диаграммы эволюции тороидального магнитного поля вблизи поверхности (контуры) и эволюция радиального магнитного поля на поверхности в нелинейной модели динамо с нелокальным ЭДС (*a*); то же для поля вблизи дна (*b*). На средних широтах видна мода с ~100-летним периодом. Интерференция различных динамо мод с разной пространственной локализацией дает долговременную модуляцию активности

Публикация:

Pipin V.V. Spatio-temporal non-localities in a solar-like mean-field dynamo // MNRAS. 2023. Vol. 522. P. 2919. DOI: 10.1093/mnras/stad1150.

2.1.1.3. Исследование вариаций времени переполюсовки полярного магнитного поля Солнца на основании анализа наблюдений и моделирования переноса поверхностного потока

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головко. Авторы результата — Е.М. Голубева, к.ф.-м.н. А.И. Хлыстова.

Для изучения обращения знака (переполюсовки) магнитного поля на полюсах Солнца в 21–24-м циклах проанализированы серии магнитограмм четырех обсерваторий. Установлено: 1) отсутствие продолжительных и многократных переполюсовок; 2) лидерство северного полюса по времени; 3) вариации временного интервала между северной и южной переполюсовками; 4) существенные вариации временного интервала между переполюсовкой и началом цикла. Моделирование переноса поверхностного потока показало вероятную обусловленность наблюдаемых вариаций времени переполюсовок изменениями наклонных свойств биполярных магнитных областей (БМО) от цикла к циклу и главным образом различием в фазе цикла, на которую преимущественно приходятся наблюдения аномальных антихейловских БМО. Их наличие в начале цикла приводит к значительной задержке переполюсовки (рис. 2.1.1.3.1).



Рис. 2.1.1.3.1. Время переполюсовок в широтных зонах $\pm (65-80)^{\circ}$ северного (синий) и южного (красный) полушарий: Слева — в циклах 21–24, выраженное в кэррингтоновских оборотах (CRs) от начала цикла и определенное по исходным магнитограммам с поправкой за шум (пунктирная вертикаль) и далее с поправкой за сдвиг нулевого уровня (сплошная вертикаль), на фоне опубликованных ранее оценок (символы); Справа — в цикле 22 по исходным магнитограммам (штриховые вертикали) с поправкой за шум (верхняя панель) и за сдвиг нулевого уровня (нижняя панель), отмечены максимумы числа пятен в соответствующих полушариях (пунктирные вертикали)

Публикация:

Golubeva E.M., Biswas A., Khlystova A.I., Kumar P., Karak B.B. Probing the variations in the timing of the Sun's polar magnetic field reversals through observations and surface flux transport simulations // Monthly Notices of Royal Astronomical Society. 2023. Vol. 525, iss. 2. P. 1758–1768. DOI: 10.1093/mnras/stad2254.

2.1.1.4. Активные долготы и структура крупномасштабного магнитного поля в минимуме солнечной активности

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

Изучалась структура крупномасштабного магнитного поля Солнца в период смены 11-летних циклов солнечной активности. Рассмотрены пять глубоких минимумов начиная с 1901 г. с наибольшим количеством беспятенных дней. Активные долготы (предпочтительные зоны возникновения солнечных пятен) продолжают сохраняться на этой стадии цикла, когда пятна могут отсутствовать более 30 дней. Анализ синоптических карт и отдельных ежедневных магнитограмм WSO, отражающих структуру слабого крупномасштабного поля, обнаруживает неосесимметричную компоненту магнитного поля Солнца. В минимуме активности в структуре крупномасштабного магнитного поля наблюдаются вытянутые вдоль меридиана области магнитного поля положительной и отрицательной полярностей, пересекающие экватор. Наиболее заметные находятся в зоне активных долгот и часто связаны с полярными магнитными полями. Наличие преимущественных долгот насто связаны с полярными магнитными полями. Наличие преимущественных долготных зон появления групп пятен и пор отражает существование именно в этих зонах в недрах Солнца источников генерации активных областей. Этот факт позволяет допустить существование глобальных конвективных ячеек, вытянутых по меридиану и способствующих выходу тороидального магнитного поля на разных широтах нового и старого циклов (рис. 2.1.1.4.1).



Рис. 2.1.1.4.1. Синоптическая карта крупномасштабного магнитного поля для минимума солнечной активности 24–25-го циклов. Выделены две группы активных долгот: 40°–120° и 240°–320°

Публикация:

Григорьев В.М., Ермакова Л.В. Активные долготы и структура крупномасштабного магнитного поля в минимуме солнечной активности // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 30–37. DOI: 10.12737/szf-94202303.

2.1.1.5. Особенности структуры и динамики активной области 12673, связанные со вспышками

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головко. Авторы результата — к.ф.-м.н. А.А. Головко, к.ф.-м.н. И.И. Салахутдинова, к.ф.-м.н. А.В. Боровик, к.ф.-м.н. А.А. Жданов.

Особенности структуры и динамики активной области NOAA 12673, связанные со вспышками, включают в себя ряд тесно коррелированных в пространстве и времени процессов: формирование двух основных центров активности, где перемежаемость магнитного поля и поля скорости увеличена в сравнении с окружающими участками, быстрое ступенчатое падение беззнакового магнитного потока во время вспышек со скоростью до $4 \cdot 10^{18}$ Mкc/c во вспышке X9.3 6 сентября 2017 г. на фоне общего тренда на уменьшение со скоростью 10^{17} Mкc/c. Величина ступенчатого падения коррелирует со вспышечным индексом. Обнаружены 1-минутные всплески максимальной индукции магнитного поля и скорости перед вспышками и развитие квазипериодических 4-минутных пульсаций после эруптивной вспышки балла X9.3 (рис. 2.1.1.5.1).

Исследование вспышечной активности АО показало, что перед вспышками малой мощности (площадь менее 2 кв. град.) и перед крупной вспышкой Х9.3 6.09.2017 на ограниченных участках линий раздела полярностей наблюдались сдвиговые напряжения магнитного поля и рост градиента: в области малых вспышек— до значений 1.3–1.5 Гс/км, в области крупной вспышки — 3–3.5 Гс/км (рис. 2.1.1.5.2).



Рис. 2.1.1.5.1. Вариации беззнакового магнитного потока F_{abs} , суммарного со знаком магнитного потока (дисбаланса) F и значения максимальной магнитной индукции B_m (черная кривая — положительная полярность). Видно изменение режима пульсаций B_m .



Рис. 2.1.1.5.2. Изменение градиента магнитного поля gradH (верхняя панель) и напряженности H (нижние панели) вдоль ЛЛРП в области вспышки: красная кривая — поле южной полярности, синяя — северной; r — коэффициенты корреляции

Публикации:

Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. Features of the structure and dynamics of the active region 12673 associated with flares // Geonagnetism and Aeronomy. 2023. Vol. 63, no. 7. P. 113–121.

Боровик А.В., Жданов А.А. Динамика мелкомасштабных магнитных полей перед малыми и крупными солнечными вспышками // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 44–53. DOI: 10.12737/szf-94202305.

2.1.1.6. 25-й цикл солнечной активности: первые три года

Проект «Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности». Руководитель — к.ф.-м.н. А.А. Головко. Авторы результата — д.ф.-м.н. С.А. Язев, к.ф.-м.н. Е.С. Исаева.

Выполнен анализ особенностей текущего 25-го цикла солнечной активности (рис. 2.1.1.6.1) за первые три года развития (2020–2022 гг.). Показано, что текущий цикл превышает предыдущий 24-й цикл по количеству групп пятен (в 1.5 раза), числу вспышек (в 1.8 раза), суммарному вспышечному индексу (в 1.5 раза). Выявлены различия в распределениях групп пятен в 24-м и 25-м циклах по максимальной достигаемой площади. Показано, что в 25-м цикле наиболее значимо превышение числа групп пятен с площадями до 30 м.д.п. (1 м.д.п.=3.04 · 10⁶ км²), а также в интервале от 570 до 1000 м.д.п. Степень североюжной асимметрии в 25-м цикле, в отличие от 24-го цикла, существенно понижена. Это позволяет прогнозировать повышенную высоту 25-го цикла (на 20–50 %) в соответствии с правилом Гневышева — Оля, а также возможный одновершинный характер цикла. Эта информация имеет значение для прогноза геофизических последствий гелиофизических факторов.



Среднемесячные числа Вольфа

Рис. 2.1.1.6.1. Среднемесячные числа Вольфа *W* в 25-м цикле по полушариям: синий цвет — северное полушарие; красный — южное. Первый месяц на шкале абсцисс — январь 2020 г., по-следний — январь 2023 г.

Публикация:

Язев С.А., Исаева Е.С., Хос-Эрдэнэ. 25-й цикл солнечной активности: первые три года // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 3. С. 5–11. DOI: 10.12737/szf-93202301.

2.1.2. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца

2.1.2.1. Колебания солнечных пятен, наблюдавшиеся на Сибирском радиогелиографе в диапазоне частот 3–6 ГГц

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. Р.А. Сыч, д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев.

Проведено исследование первых наблюдений пространственно-разрешенных источ-ников колебаний, полученных Сибирским радиогелиографом в диапазоне частот 3–6 ГГц. В солнечной активной области AR 12833 19 июня 2021 г. были обнаружены колебания микроволнового излучения с периодами ~3, 5, 15 мин; построены карты пространственного распределения этих колебаний. Показано, что 3-минутные колебания наиболее выражены на частоте 5.6 ГГц, в то время как для более длительных колебаний наибольшая амплитуда имеет место на более низких частотах. Колебания на разных частотах демонстрируют высокую корреляцию друг с другом, а также с сигналами в ультрафиолетовом диапазоне; в то же время, наблюдается частотно-зависимая временная задержка, которая отражает распространение возмущений в солнечной короне в направлении вверх. Положения источников колебаний на разных частотах с разными периодами несколько отличаются, что отражает структуру активной области с различными частотами отсечки магнитогидродинамических колебаний на разных высотах. Таким образом, многоволновые наблюдения в микроволновом диапазоне существенно расширяют возможности корональной сейсмологии.



Рис. 2.1.2.1.1. Изображение Солнца на частоте 4.7 ГГц, полученное Сибирским Радиогелиографом 19 июня 2021 г., в 01:30 UT (*a*); контуры микроволновых источников на разных частотах, наложенные на изображение SDO/AIA на длине волны 304 Å (*b*); карта распределения интенсивности 3-минутных колебаний в излучении на частоте 4.7 ГГц (синие контуры) и на длине волны 304 Å (фон) (*c*)

Публикация:

Sych R., Altyntsev A. Siberian Radioheliograph: sunspot oscillations in 3–6 GHz band // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2023. Vol. 519. P. 4397. DOI: 10.1093/mnras/stac38172.

2.1.2.2. Взаимосвязи между микроволновыми всплесками и всплесками III типа в верхней короне

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 д.ф.-м.н. А.Т. Алтынцев¹, Н. Reid², к.ф.-м.н. Н.С. Мешалкина¹, к.ф.-м.н. И.И. Мышьяков¹, к.ф.-м.н. Д.А. Жданов.

¹ Институт солнечно-земной физикиСО РАН, ² University College London

Исследование переноса энергии и частиц из нижней короны в вышележащие слои солнечной атмосферы является одной из наиболее актуальных задач солнечной физики. Мы проанализировали наблюдения события 13 апреля 2019 г., проведенные LOFAR в метровом диапазоне волн, Сибирским радиогелиографом и спектрополяриметрами радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН в микроволновом диапазоне, и Hinode/XRT в мягком рентгеновском диапазоне (Рис. 2.1.2.2.1). Были обнаружены многочисленные метровые радиовсплески III и J типов, которые сопровождались рентгеновскими уярчениями и узкополосным микроволновым излучением на частоте около 6 ГГц. Обнаружена высокая корреляция между излучениями в различных спектральных диапазонах. Сделан вывод, что излучение было обусловлено нетепловыми электронами, источник которых был расположен в хвосте активной области, где взаимодействовали две системы магнитных петель; затем излучение в метровом диапазоне генерировалось в высоких петлях на высоте около 400 Мм, в то время как микроволновое и рентгеновское излучение в петлях меньшего размера.



Рис. 2.1.2.2.1. Изображения Солнца, полученные 13 апреля 2019 г.: a — контуры радиоисточников в метровом диапазоне, наложенные на изображение SDO/AIA на длине волны 171 Å; b увеличенное изображение активной области с контурами микроволновых источников на частоте 6.25 ГГц (белые контуры — интенсивность, черные сплошные и штриховые — правая и левая круговые поляризации) и фотосферного магнитного поля (красные и синие контуры для положительных и отрицательных значений), наложенными на изображение в рентгеновском диапазоне

Публикация:

Altyntsev A.T., Reid H., Meshalkina N.S., Myshyakov I.I., Zhdanov D.A. Temporal and spatial association between microwaves and type III bursts in the upper corona // Astron. Astro-phys. 2023. Vol. 671, id A30. DOI: 10.1051/0004-6361/202244599.

2.1.2.3. Динамические процессы в спокойной области на Солнце по линиям СаП

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. И.П. Турова, к.ф.-м.н. С.А. Григорьева, О.А. Ожогина.

Проблема нагрева верхней солнечной атмосферы является одной из ключевых в солнечной физике. В этом контексте важно понять роль МГД-волн в переносе энергии из фотосферы в хромосферу и корону. Остается много нерешенных вопросов, связанных с возможностями восполнения волновыми процессами радиативных потерь в хромосфере, переходной области и короне.

Нами исследовались колебательные процессы в спокойном Солнце вне корональной

дыры на разных уровнях солнечной хромосферы, от фотосферы до средней и верхней хромосферы. Использованы спектроскопические наблюдения линий ионизованного кальция (К, Н и 849.8 нм), полученные на Автоматизированном солнечном телескопе Саянской солнечной обсерватории. По интенсивностям в центрах линий К CaII и 849.8 нм на спектрограммах были выбраны различные хромосферные структуры. Выбранные структуры относятся к темным немагнитным участкам и к промежуточным, а также к ярким магнитным участкам хромосферной сетки. Был проведен спектральный анализ временных серий для ряда параметров линий, включающего интенсивности линий в характерных участках контуров и смещения этих участков по длине волны. По результатам спектральной спектральной мощности колебаний этих параметров в различных полосах частот как во всей исследуемой области, так и в отдельных хромосферных структурах.

Выполнено сравнение полученных результатов с результатами исследования колебательных процессов в спокойных областях, находящихся в основании корональной дыры. Показано, что мощность колебаний выше в области спокойного Солнца вне корональной дыры. При этом имеется общая для исследованных областей тенденция уменьшения мощности колебаний с высотой для всех диапазонов частот, кроме низкочастотного и высокочастотного, в большинстве хромосферных структур (рис. 2.1.2.3.1). В структурах с пониженным магнитным полем наблюдается рост мощности с высотой от фотосферы до высот нижней хромосферы с некоторым уменьшением ее к верхней хромосфере, что может быть связано с диссипацией волн.



Рис. 2.1.2.3.1. Распределение интегральной спектральной мощности колебаний интенсивности в области N05W00 в нижней хромосфере (IK1r, голубая кривая и заливка) и верхней хромосфере (IK3, красная кривая и заливка) в нескольких частотных диапазонах

Публикация:

Турова И.П., Григорьева С.А., Ожогина О.А. Линии Са II в спокойной области на Солнце. I. Динамические процессы в солнечной атмосфере // Солнечно-земная физика 2023. Т. 9, № 2, С. 12. DOI: 10.12737/szf-92202302.

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

2.1.3.1. Фотометрические наблюдения геостационарных космических аппаратов в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах

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.В. Еселевич.

Представлены первые результаты многоцветных наблюдений геостационарных космических аппаратов (КА) на телескопе АЗТ-ЗЗИК Саянской солнечной обсерватории, начатых в 2022 г. Измерения выполнены в полосах BVR_cI_c оптического и J_{MKO}H_{MKO} ближнего инфракрасного диапазонов. В работе использовалась камера XEVA-1.7-320, на основе которой был построен фотометр ближнего инфракрасного диапазона. Определены характеристики камеры, в соответствии с которыми выбраны оптимальные режимы наблюдения. По наблюдениям звезд-стандартов определены коэффициенты перехода от инструментальной фотометрической системы к стандартной. По полученному набору измерений показателей цвета отмечается присутствие объектов с аномально большими значениями Ј-Н (>1), в то время как оптические показатели цвета соответствовали средним значениям по выборке (рис. 2.1.3.1.1). Наблюдались также объекты с большим значением показателя B-V (>1) при средних значениях инфракрасного показателя цвета, что указывает на существенные различия в спектральном составе отраженного солнечного излучения данных КА. Это подтверждает возможность использования спектральных особенностей отражения в широком диапазоне длин волн в качестве дополнительных идентификационных признаков.



Рис. 2.1.3.1.1. Показатели цвета J-Н геостационарных КА. Вертикальной стрелкой обозначен показатель цвета Солнца

Публикация:

Коробцев И.В., Еселевич М.В. Предварительные результаты фотометрии геостационарных КА в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах // Научные труды ИНА-САН. 2023. Т. 8. вып. 4. С. 169-176. DOI: 10.51194/INASAN.2023.8.4.001.

2.1.3.2. Магнитосферная аккреция на поздних стадиях эволюции до главной последовательности. Случай RZ PSC

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель — к.ф.м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата — Д.В. Дмитриев^{1,2}, Т.А. Ермолаева¹, В.П. Гринин^{1,3}, И.С. Потравнов⁴.

 1 ГАО РАН, 2 КрАО РАН, 3 СПбГУ, 4 ИСЗФ СО РАН

Исследована вспышка аккреционной активности в системе RZ Psc возрастом $t\sim 20$ млн. лет, наблюдавшаяся в 2013 г. Увеличение темпа аккреции примерно на порядок величины свидетельствует о крайне нестабильном режиме аккреции на поздних стадиях эволюции протопланетных дисков. Применение модели магнитосферной аккреции, разработанной коллегами из ГАО РАН, позволило оценить параметры аккрецирующего газа и самой магнитосферы RZ Psc. Было показано, что темп аккреции составляет log $dM/dt \sim -10.3M_{\odot}$ /год, угол наклона магнитной оси к лучу зрения $i \approx 43^{\circ}\pm3^{\circ}$, напряженность дипольной компоненты поля $B \approx 0.1$ кГс. Наклон оси магнитосферы оказывается существенно меньше, чем наклон пылевого диска $i \sim 70^{\circ}$. Такое искривление диска, а также продленная аккреционная активность в системе могут быть объяснены динамическим воздействием недавно открытого вторичного компаньона RZ Psc B (рис. 2.1.3.2.1).



Рис. 2.1.3.2.1. Наблюдаемый (черная линия) и модельные (цветные линии) профили линии На в спектре RZ Psc, полученном 16.11.2013

Публикация:

Dmitriev D.V., Ermolaeva T.A., Grinin V.P., Potravnov I.S. Magnetospheric accretion at the late phases of the pre-main-sequence evolution: the case of RZ Psc // MNRAS. 2023. Vol. 520, no. 3. P. 3706–3711. DOI: 10.1093/mnras/stad334.

2.1.3.3. Новые активные ядра галактик, обнаруженные телескопами АРТ-ХС и еРОЗИТА в ходе первых пяти рентгеновских обзоров всего неба обсерватории СРГ

Проект «Развитие оптических методов экспериментальных исследований астрофизических объектов и околоземного космического пространства». Руководитель — к.ф.м.н. М.В. Еселевич. Авторы результата — Г.С. Усков¹, С.Ю. Сазонов¹, И.А. Зазнобин¹, Р.А. Буренин¹, М.Р. Гильфанов^{1,2}, П.С. Медведев¹, Р.А. Сюняев^{1,2}, Р.А. Кривонос¹, Е.В. Филиппова¹, Г.А. Хорунжев¹, М.В. Еселевич³

¹ИКИ РАН, ²МРА, ³ИСЗФ СО РАН

Представлены результаты идентификации 14 рентгеновских источников, обнаруженных на восточном галактическом небе (0° < l < 180°) в диапазоне энергий 4–12 кэВ телескопом АРТ-ХС им. Михаила Павлинского на борту обсерватории СРГ в ходе первых пяти обзоров всего неба (декабрь 2019 – март 2020 г.). Все 14 источников были надежно зарегистрированы телескопом СРГ/еРОЗИТА в диапазоне энергий 0.2–8 кэВ. Шесть из этих объектов обнаружены в рентгене впервые, остальные были известны ранее как рентгеновские источники, но их природа оставалась неизвестной. На 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН были получены оптические спектры 12 источников (рис. 2.1.3.3.1). Для двух источников использовались архивные спектры, полученные в ходе обзора 6dF. Все объекты оказались сейфертовскими галактиками разных типов (одна — NLSy1, три — Sy1, четыре — Sy1.9, шесть — Sy2) на красных смещениях z = 0.015–0.238. Работа продолжает серию публикаций по идентификации жестких рентгеновских источников, обнаруженных в ходе обзора всего неба обсерватории СРГ.



Рис. 2.1.3.3.1. Спектр рентгеновского источника SRGA J001439.6+183503, полученный на телескопе A3T-33ИK 31.10.2022. Отмечены основные эмиссионные линии и линии поглощения. Полученные данные позволили отнести объект к сейфертовской галактике II типа (Sy2) на z = 0.018

Публикация:

Uskov G.S., Sazonov S.Yu., Zaznobin I.A., Burenin R.A., Gilfanov M.R., Medvedev P.S., Sunyaev R.A., Krivonos R.A., Filippova E.V., Khorunzhev G.A., Eselevich M.V. New active galactic nuclei detected by the ART-XC and eROSITA telescopes during the first five SRG all-sky X-ray surveys // Astron. Lett. 2023. Vol. 49, no. 2. P. 25–48. DOI: 10.1134/S1063773723020044.

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

2.1.4.1. Мониторинг гелиосферы, магнитосферы и атмосферы по эффектам в космических лучах в августе 2018 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 — И.И. Ковалев, д.ф.-м.н. С.В. Олемской, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

По наземным наблюдениям космических лучей (КЛ) на мировой сети нейтронных мониторов с привлечением данных измерений интенсивности заряженных компонент в Якутске (ИКФИА СО РАН) и Москве (МИФИ) проведен мониторинг межпланетной среды, магнитосферы и атмосферы Земли в августе 2018 г. (рис. 2.1.4.1.1.). Получены спектры вариаций первичных КЛ, амплитуды питч-угловой анизотропии КЛ на орбите Земли, информация об ориентации и конфигурации межпланетного магнитного поля (ММП), а также изменения планетарной системы жесткости геомагнитного обрезания (ЖГО) в периоды геомагнитных возмущений и среднемассовая температура атмосферы в точках измерений интенсивности заряженных компонент.

Для периода магнитной бури 25–27 августа 2018 г. показано, что интенсивность протонов с жесткостью 4 ГВ упала на ~15 %, а изменение ЖГО в Иркутске составило –1.04 ГВ. В результате анализа поведения амплитуд первой и второй гармоник питч-угловой анизотропии установлено наличие в этот период на орбите Земли петлеобразных структур ММП.

Показано, что по данным наблюдений интенсивности КЛ на мировой сети станций с привлечением данных наблюдений заряженных компонент можно эффективно проводить мониторинг некоторых параметров межпланетной среды, магнитосферы и атмосферы Земли.



Рис. 2.1.4.1.1. Временной ход среднемассовой температуры атмосферы над Москвой и Якутском: сплошная линия — данные независимых измерений; штриховая линия — результаты, полученные по данным наблюдений КЛ

Публикация:

Kovalev I.I., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E., Dmitrieva A.N., Shutenko V.V. Monitoring heliosphere, magnetosphere, and atmosphere via cosmic ray effects in 2018 August // Bul. Russ. Acad. Sci.: Phys. 2023. Vol. 87, no. 7. P. 958–961. DOI: 10.3103/S1062873823702556.

2.1.4.2. Наземное возрастание интенсивности космических лучей 24 августа 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. М.В. Кравцова, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

По данным наземных и спутниковых наблюдений интенсивности КЛ на мировой сети станций методом спектрографической глобальной съемки исследованы вариации жескостного спектра и анизотропия КЛ в период наземного возрастания интенсивности КЛ 24 августа 1998 г. (GLE58). Определены жесткостные дифференциальные спектры КЛ в отдельные периоды исследуемого события (рис. 2.1.4.2.1). Показано, что максимальная жесткость ускоренных протонов в этом событии составила ~2.5 ГВ. Обнаружено существенное увеличение амплитуды первой гармоники питч-угловой анизотропии с повышенным потоком частиц из направления $\psi ~ 280^{\circ}$ (долгота), $\lambda ~ -10^{\circ}$ (широта) в солнечноэклиптической геоцентрической системе координат.



Рис. 2.1.4.2.1. Дифференциальные жесткостные спектры КЛ в отдельные моменты времени развития GLE58 (*a*). Кривые — результаты расчетов, значки — данные наблюдений: 1 — 21:00 UT, 2 — 23:00 UT, 3 — 24:00 UT. Дифференциальные жесткостные спектры ускоренных частиц (*b*): 1 — 23:00 UT, 2 — 24:00 UT

Публикация:

Kravtsova M.V., Sdobnov V.E. Cosmic ray ground level enhancement on August 24, 1998 // Bull. Russian Academy of Sciences: Physics. 2023. Vol. 87, no. 7. P. 1018–1020. DOI: 10.3103/ S1062873823702428.

2.1.4.3. Вариации космических лучей магнитосферного и атмосферного происхождения, параметры магнитосферных токовых систем во время геомагнитных возмущений в мае 1998, сентябре 2017 и августе 2018 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 — И.И. Ковалев, к.ф.-м.н. М.В. Кравцова, д.ф.-м.н. С.В. Олемской, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

По данным наблюдений на мировой сети станций космических лучей (КЛ) рассчитаны изменения планетарной системы жесткостей геомагнитного обрезания (ЖГО) КЛ в периоды геомагнитных возмущений в мае 1998, сентябре 2017 и августе 2018 г., которые использованы для определения параметров DR (кольцевой ток) и DCF (токи на магнитопаузе) токовых систем, таких как радиус, сила тока, расстояние до подсолнечной точки. Оценен вклад этих токовых систем в изменения ЖГО и *Dst*-индекс, а также получен временной ход среднемассовой температуры в пунктах размещения мюонных детекторов, данные которых использованы в расчетах. Рассчитана среднемассовая температура атмосферы над Москвой (район МИФИ) и Якутском в местах размещения мюонного годоскопа УРАГАН и Якутского комплекса мюонных телескопов.

Показано, что повышение интенсивности КЛ 4 мая 1998 г. на низко- и среднеширотных станциях связано с уменьшением ЖГО; вклад эффективного кольцевого тока в изменения ЖГО составил ~50–60 %, в *Dst*-индекс — ~60–70 %.

Установлено, что в процессе развития геомагнитных возмущений 7–8 сентября 2017 г. магнитосферные токи усиливались, достигая максимальных значений на главной фазе бури 8 сентября. При этом кольцевой ток опускался до $3.6R_E$ (R_E — радиус Земли) на начальной фазе первой бури и возвращался до $\sim 5R_E$ на главной фазе. Подсолнечная точка магнитосферы находилась на удалении $\sim 9R_E$, смещаясь до $\sim 8.8R_E$ на начальных этапах возмущений. Во время геомагнитной бури 27 сентября кольцевой ток опускался до $4.6R_E$, а подсолнечная точка смещалась до $8.8R_E$ на начальной фазе.

Установлено, что в процессе развития геомагнитной бури в августе 2018 г. на начальной фазе радиус кольцевого тока достиг $4.7R_{\rm E}$, кольцевой ток — $11.9 \cdot 10^6$ А. Расстояние до подсолнечной точки составляло $9.1R_{\rm E}$, ток на магнитопаузе — $3.19 \cdot 10^6$ А. Вклад кольцевого тока в *Dst* составил –148 нТл, токов на магнитопаузе — 100 нТл.

На фазе максимальной модуляции кольцевой ток усилился до $25.6 \cdot 10^6$ А, ток на магнитопаузе — до $10.6 \cdot 10^6$ А, подсолнечная точка сместилась до $\sim 7R_E$. Вклад кольцевого тока в *Dst* составил –477 нТл, токов на магнитопаузе — 281 нТл.

На фазе восстановления радиус кольцевого тока достиг $4.9R_{\rm E}$, расстояние до подсолнечной точки — $8.8R_{\rm E}$. Силы кольцевого тока и тока на магнитопаузе уменьшились до $14.0 \cdot 10^6$ и $4.35 \cdot 10^6$ А соответственно. Вклад кольцевого тока в *Dst* составил –203 нТл, токов на магнитопаузе — 123 нТл.

Публикации:

1. Kovalev I.I., Kravtsova M.V., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E., Dmitrieva A.N., Shutenko V.V. Cosmic ray variations of magnetospheric and atmospheric origin in September 201 7 // Phys. Atomic Nucl. 2023. Vol. 86, no. 4.

2. Луковникова А.А., Сдобнов В.Е. Параметры магнитосферных токовых систем во время геомагнитных возмущений в мае 1998 // Изв. РАН. Сер. физ. 2023. Т. 87, № 7. С. 1058–1061. DOI: 10.31857/S0367676523701892, EDN: OTCJFQ.

2.1.4.4. Взаимосвязь параметров магнитосферы с жесткостью обрезания космических лучей в зависимости от широты

Проект «Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей». Руководитель к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.А. Данилова¹, к.ф.-м.н. Н.Г. Птицына¹, д.ф.-м.н. М.И. Тясто¹, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов².

¹Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Санкт-Петербург; ²Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

Оценена связь вариаций ЖГО ΔR с изменением параметров гелио- и геомагнитосферы в период 7–8 сентября 2017 г. Для этого ΔR рассчитаны двумя способами: численным интегрированием траекторий протонов в магнитосфере модели Цыганенко (Ts01) (Tsyganenko N.A. A model of the near magnetospherewith a dawn-dusk asymmetry: 2. Parametrization and fitting to observation // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107, no. A8. DOI: 10.1029/2001JA000220) ($\Delta R_{эф}$) и расчетами методом СГС по данным мировой сети станций КЛ (Dvornikov V.M., Kravtsova M.V., Sdobnov V.E. Diagnostics of the lectromagnetic characteristics of the interplanetary medium based on cosmic ray effects // Geomagnetism and Aeronomy. 2013. Vol. 53, iss. 4. P. 430–440) (ΔR_{crc}). В результате исследования сделаны следующие выводы:

Во время бури 7–8.IX.2017 наибольшее понижение порогов наблюдается в максимуме бури (*Dst* = –142 нТл), достигая значений $\Delta R_{crc} = -0.52 \ \Gamma B$ (Иркутск) и $\Delta R_{3\phi} = -0.66 \ \Gamma B$ (Кингстон).

Во время всех фаз бури наблюдательная широтная кривая $\Delta R_{\rm crc}(R_{\rm c})$ принимает классическую форму с максимумом падения жесткости обрезания на среднеширотных станциях ($R_{\rm c} = 3.66 \ \Gamma B$). Широтное распределение модельных $\Delta R_{\rm sop}$ существенно отличается от распределения наблюдательных $\Delta R_{\rm crc}$, для средних и высоких широт ($R_{\rm c} \leq 3.66 \ \Gamma B$, $\phi \geq 53^{\circ}$ N и $\phi \geq 40^{\circ}$ S).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что во время бури 7–8 сентября 2017 г. модель магнитосферы Ts01 недостаточно хорошо отражала пространственную конфигурацию возмущенной магнитосферы в области высоких широт.

Изменение как наблюдательных, так и модельных геомагнитных порогов на масштабе

всей бури наиболее сильно коррелирует с *Dst*, что свидетельствует о том, что кольцевой ток играет главную роль в контроле вариаций жесткостей обрезания КЛ. Также видна значительная зависимость ΔR_{crc} и $\Delta R_{s\phi}$ от параметров солнечного ветра *V* и несколько меньшая от магнитных параметров. $\Delta R_{s\phi}$ контролируется парой *B* и B_z , а $\Delta R_{crc} - B$ и B_y .

Чувствительность ΔR к динамическим и магнитным параметрам межпланетной среды различна на разных фазах бури и отличается от чувствительности, определенной на масштабе всей бури.

Для $\Delta R_{\rm crc}$ корреляция с магнитными параметрами в главной фазе демонстрирует тенденцию к изменению регулярным образом в зависимости от станции наблюдения. Для $\Delta R_{\rm sop}$ такой тенденции не наблюдается. На восстановительной фазе наблюдается хаотическое нерегулярное поведение коэффициента корреляции в зависимости от станции наблюдения, вызванное особенностями бури и связанными с ними анизотропиями.

Публикация:

Danilova O.A., Ptitsyna N.G., Tyasto M.I., Sdobnov V.E. The relationship of magnetospheric parameterswith cosmic-ray cutoff rigidities depending on latitude // Cosmic Res. 2023. Vol. 61, no. 1. P. 18–26. DOI: 10.1134/S0010952523010021.

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. Авторы результата — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов, А.Д. Судникович.

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

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

Для обеспечения в режиме реального времени стабильной работы станций КЛ проводились профилактические работы, проведена 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. Аппроксимация вариаций параметров ионосферы и мезосферы в цикле солнечной активности с использованием различных индексов

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 $N_{\rm m}F2$, измеренных с помощью ионозонда, и спектрометрических измерений температуры мезопаузы T_m осуществлена аппроксимация вариаций параметров ионосферы и мезосферы в цикле солнечной активности различными индексами солнечной (F10.7), геомагнитной (Ap) и атмосферной активности (индекс Южной осцилляции SOI). Исследованы вариации среднегодовых значений N_mF2 и T_m, а также среднегодовых значений возмущенности N_mF2 $(\sigma N_{\rm m}F2)$ и $T_{\rm m}$ ($\sigma T_{\rm m}$). Возмущения $N_{\rm m}F2$ и $T_{\rm m}$ были разделены по трем диапазонам периодов *T*: межсуточные возмущения (T > 24 ч), возмущения с периодами приливов ($8 \le T \le 24$ ч) и возмущения периодами внутренних гравитационных волн ВГВ (T < 8 ч). Для $N_{\rm m}$ F2 использовались дневные и ночные значения, для T_m — только ночные значения. Аппроксимация осуществлялась на основе простой либо множественной регрессии на среднегодовые индексы F10.7, Ap, SOI. Мерой успешности аппроксимации являлся коэффициент детерминации R^2 . Среднегодовые значения $N_{\rm m}$ F2 (рис. 2.2.1.1.1) практически полностью определяются вариациями солнечной активности ($R^2 = 99.5$ % для дня и 98 % для ночи), учет геомагнитной активности практически не изменяет R^2 . Для среднегодовых значений σN_mF2 наилучшую аппроксимацию обеспечивает комбинация солнечной и геомагнитной активности (F10.7 и Ap), при этом R^2 сильно зависит от диапазона периодов и времени суток. Наилучшая аппроксимация реализуется для дневных межсуточных возмущений ($R^2 =$ 91.9 %) и возмущений в диапазоне периодов ВГВ ($R^2 = 92.6$ % для дня и 82.7 % для ночи). Наихудший результат дает аппроксимация ночных межсуточных возмущений ($R^2 = 29.6$ %). Для среднегодовых значений $\sigma T_{\rm m}$ наилучшую аппроксимацию обеспечивает комбинация атмосферной и геомагнитной активности (SOI и Ap) при определяющем вкладе атмосферной активности. Наилучшая аппроксимация реализуется для межсуточных возмущений ($R^2 = 66.7$ %), а наихудшая — для возмущений в диапазоне периодов ВГВ ($R^2 = 35.5$ %). Для среднегодовых значений T_m (рис. 2.2.1.1.1) наилучшую аппроксимацию обеспечивает комбинация атмосферной и солнечной активности (SOI и F10.7) при наиболее низком (из всех случаев) коэффициенте детерминации ($R^2 = 18.1$ %).



Рис. 2.2.1.1.1. Вариации среднегодовых значений $N_{\rm m}$ F2 и $T_{\rm m}$ в цикле солнечной активности и их аппроксимации (простая регрессия на *F*10.7 для $N_{\rm m}$ F2 и множественная регрессия на *F*10.7 и *SOI* для $T_{\rm m}$).

Публикация:

Medvedeva I.V.; Ratovsky K.G. Multi-year variations in temperature in mesopause region and F2-region peak electron density over Eastern Siberia // Atmosphere. 2023. Vol. 14, no. 2, 391. 16 p. DOI: 10.3390/atmos14020391.

2.2.1.2. Анализ регулярности наблюдения суточных и субсуточных волн в нижних слоях ионосферы по данным среднеширотных радаров SuperDARN и SEKIRA

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 — И.А. Лавыгин¹, к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт¹, S.G. Shepherd².

¹ИС3Φ CO PAH, ²Dartmouth College (USA)

По данным шести среднеширотных радаров когерентного рассеяния сетей SuperDARN и CEKИPA проанализированы суточные и внутрисуточные колебания параметров рассеянных сигналов с высоким спектральным разрешением. Метод основан на параметрической оценке спектра временного хода параметров с использованием регрессионной модели ARIMA. Проведен предварительный анализ сезонной и пространственной изменчивости обнаруженных спектральных мод с периодами от 24 до 4 ч, проанализированы наиболее регулярно наблюдаемые спектральные моды в этом диапазоне (рис. 2.2.1.2.1). Показано, что колебания с периодами 1/4 и 1/5 сут наблюдаются менее регулярно, чем более высоко- и низкочастотные спектральные составляющие.



Рис. 2.2.1.2.1. Сравнение классического фурье-спектра и параметрического спектра на основе модели ARIMA (вверху). Регулярность (ранг) появления различных спектральных составляющих в различных параметрах принятого сигнала: признак рассеяния от Земли, мощность сигнала, расстояние до рассеивателей, скорость и спектральная ширина (в середине). Ранговый состав спектральных составляющих на различных высотах, радарах и в различные сезоны (внизу)

Публикация:

Lavygin I.A., Berngardt O.I., Shepherd S.G. Study of the spectral composition of waves in the lower ionospheric layers according to the data of the SuperDARN and SEKIRA radars using the ARIMA model // Proc. SPIE. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physic. 2023. 127807L. DOI: 10.1117/12.2690977.

2.2.1.3. Эмпирическая нейросетевая прогностическая модель для критической частоты *f*₀F2 на средних широтах с заблаговременностью до 24 часов

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 — Б.Г. Салимов, к.ф.-м.н. О.И. Бернгардт¹, А.Е. Хмельнов², к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, к.г.-м.н. О.А. Кусонский³

¹ИСЗФ СО РАН, ²ИДСТУ СО РАН, ³ИГФ УрО РАН

Разработана эмпирическая модель прогноза критической частоты ионосферы f_0 F2 в средних широтах с заблаговременностью до 24 ч на основе двумерных сверточных нейронных сетей (рис. 2.2.1.3.1). Входными параметрами модели является 90-дневная история f_0 F2, индексов солнечной (F10.7) и магнитной (Dst) активности. Показано, что основной вклад в прогнозную ценность f_0 F2 вносят данные за ближайшие несколько дней до прогноза; вклад остальных дней сильно уменьшается. Модель обучена на данных среднеширотных ионозонда в Иркутске (РФ), протестирована на данных нескольких среднеширотных ионозондов (Арти, Россия; Варшава Польша; Мохэ, Китай) и продемонстрировала удовлетворительные показатели качества прогноза в спокойных и слабо возмущенных условиях. Модель может применяться для прогноза foF2 в средних широтах.



Рис. 2.2.1.3.1. Архитектура модели (вверху). Пример прогноза f_0 F2 моделью и экспериментальные данные (в середине), вертикальная линия — момент начала прогноза. Качество обученной модели на данных других среднеширотных ионозондов: корреляция Пирсона, среднеквадратичная ошибка, средняя абсолютная ошибка и коэффициент детерминации (внизу)

Публикация:

Салимов Б.Г., Бернгардт О.И., Хмельнов А.Е., Ратовский К.Г., Кусонский О.А. Применение сверточных нейронных сетей для прогнозирования критической частоты f_0 F2 // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 1. С. 60–72. DOI: 10.12737/szf-91202307.

2.2.1.4. Информационно-аналитическая система комплексного анализа радиофизических данных ИСЗФ СО РАН: первые результаты. Верификация моделей ионосферы по данным ИРНР и ГНСС

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, В.А. Ивонин, Н.А. Громик

Разработана информационно-аналитическая система комплексного анализа радиофизических данных ИСЗФ СО РАН. Система позволяет гибко моделировать среду распространения радиосигнала, используя измерения на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР) и модели тропосферы, ионосферы и магнитного поля Земли. В систему входят блок моделирования распространения радиоволн в атмосфере и ионосфере, включающий моделирование изменения поляризационного состояния радиоволны ультракороткого диапазона и моделирование рефракции в тропосфере и ионосфере (рис. 2.2.1.4.1), а также модуль для сравнения и анализа суточной динамики параметров моделей ионосферы. Помимо данных ИРНР система работает с GPS-данными, что дает возможность сравнения полного электронного содержания (ПЭС), рассчитанного по выбранной модели ионосферы и полученного с помощью GIM-карт. В ходе сравнительного анализа динамики расчетного ПЭС, полученного с привлечением данных ИРНР, и ПЭС по данным GPS установлено, что лучшее их совпадение наблюдается при использовании в расчетах в дневные часы (от 00:00 до 12:00 UT) α-профиля Чепмена, в ночные часы — слоя Эпштейна (рис. 2.2.1.4.2).



Рис. 2.2.1.4.1. Блок-схема информационно-аналитической системы



Рис. 2.2.1.4.2. Динамика ПЭС по данным GPS (черная линия) и расчетного ПЭС (серая линия), полученного с привлечением профиля электронной концентрации, восстановленного по данным ИРНР и продолженного вверх по описанным выше моделям для периода 01.02–05.02.2022

Публикация:

Лебедев В.П., Ивонин В.А., Громик Н.А. Информационно-аналитическая система комплексного анализа радиофизических данных ИСЗФ СО РАН: первые результаты // Сборник докладов XXVIII Всероссийской открытой научной конференция «Распространение радиоволн». 2023. С. 139–142.

2.2.1.5. Исследование вариаций мощности радиолокационного сигнала от спутников группировки «Starlink» по данным 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 — Ивонин В.А., к.ф.-м.н. В.П. Лебедев.

Проведен анализ мощности радиолокационных (РЛ) сигналов, отраженных от спутников группировки «Starlink», зарегистрированных на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР) в 2021–2023 гг. Спутники группировки «Starlink» (высота орбиты ~ 550 км) плотным потоком пролетают через сектор сканирования ИРНР. По состоянию на февраль 2023 г. на орбиту выведено около четырех тысяч спутников этой группировки. Плотный поток спутников вносит значительные помехи в измерения высотного профиля мощности регистрируемого зондирующего сигнала некогерентного рассеяния. Тем не менее РЛ-сигналы от этих спутников можно попытаться использовать для корректировки параметров профиля электронной концентрации. Для исследования возможностей такой корректировки отбирались космические аппараты (KA) «Starlink», имеющие одинаковую форму, параметры орбиты и ориентацию. ИРНР представляет собой радар с антенной линейной поляризации, поэтому особое внимание уделено эффектам Фарадея и Коттона — Мутона, приводящим к изменению состояния поляризации радиоволны. В результате анализа данных была выделена как среднесуточная динамика изменения эффективной площади рассеяния КА «Starlink», так и динамика мощности сигнала, связанная с эффектом Фарадея (рис. 2.2.1.5.1).



Рис. 2.2.1.5.1. Динамика квадрата косинуса угла поворота большой полуоси эллипса поляризации вследствие эффекта Фарадея при распространении РЛ-сигнала от ИРНР до спутника «Starlink» и обратно — черная линия (левая ось), а также мощность принятого РЛ-сигнала от соответствующих спутников, нормированная на среднесуточную динамику изменения эффективной площади рассеяния, — серая линия (правая ось)

Публикация:

Ивонин В.А., Лебедев В.П. Исследование вариаций мощности радиолокационного сигнала от спутников группировки «Starlink» по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния // Сборник докладов XXVIII Всероссийской открытой научной конференция «Распространение радиоволн» (Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.). 2023. С. 353–355.

2.2.1.6. Корреляционный анализ абсолютных измерений солнечного потока на частотах 161 и 245 МГц

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. Д.С. Кушнарев, А.Г. Сетов.

Проведен сравнительный корреляционный анализ измерений солнечного потока метрового диапазона по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) на частоте 161 МГц и обсерватории Learmonth сети RSTN на частоте 245 МГц. Было проведено также сравнение с индексом F10.7, характеризующим поток солнечного излучения на частоте 2800 МГц. Были использованы дневные ряды измерений солнечного потока: для ИРНР — 643 дня наблюдений, для Learmonth — 5458 дней. Для анализа использовались коэффициенты корреляции Пирсона и Спирмена при различных значениях порога отсечки выбросов в данных (рис. 2.2.1.6.1). Такой метод обработки позволяет фильтровать интенсивные радиовсплески метрового диапазона, возникающие на разных частотах. Анализ показал наличие корреляции (*R* > 0.7) между потоками метрового диапазона и индексом F10.7, однако взаимная корреляция между потоками на частотах 161 и 245 МГц оказалась ниже, чем корреляция с F10.7. Было исследовано также изменение среднегодового и среднесуточного потоков в течение более 10 лет наблюдений. Среднегодовой поток ожидаемо усиливается при повышении солнечной активности. Средние фоновые значения среднесуточного потока находятся вблизи модельных значений и составили 5.5 с.е.п. на частоте 161 МГц и 11.8 с.е.п. на частоте 245 МГц. Анализ корреляции внутрисуточных вариаций потоков и автокорреляционный анализ показали наличие суточного хода в данных обоих инструментов.

	Корреляция Пирсона							Корреляция Спирмана						
	244 100%	0.48	0.65	0.67	0.70	0.66	0.26	0.48	0.63	0.71	0.76	0.77	0.79	
<i>F</i> 10.7, с.е.п.	137 90%	0.52	0.67	0.71	0.74	0.68	0.31	0.48	0.60	0.69	0.74	0.76	0.78	
	120 80%	0.51	0.65	0.70	0.73	0.67	0.21	0.47	0.59	0.67	0.72	0.73	0.74	
	112 70%	0.47	0.58	0.68	0.69	0.59	0.16	0.45	0.53	0.63	0.67	0.68	0.69	
	100 60%	0.40	0.51	0.66	0.65	0.56	0.24	0.38	0.44	0.54	0.57	0.60	0.62	
	89 50%	0.33	0.41	0.54	0.59	0.54	0.54	0.31	0.34	0.38	0.42	0.47	0.47	
Поток 245 МГц, с.е.п.	376 - 100% -	0.12	0.11	0.08	0.12	0.23	0.71	0.38	0.47	0.50	0.54	0.59	0.67	
	45 _ 90% _	0.39	0.43	0.39	0.45	0.54	0.43	0.41	0.53	0.57	0.62	0.66	0.69	
	30 80%	0.49	0.58	0.55	0.61	0.64	0.46	0.39	0.54	0.59	0.66	0.69	0.71	
	24 70%	0.47	0.55	0.55	0.61	0.61	0.48	0.36	0.50	0.57	0.63	0.65	0.66	
	21 60%	0.36	0.51	0.59	0.65	0.62	0.60	0.24	0.40	0.54	0.62	0.62	0.63	
	18 50%	0.28	0.38	0.52	0.58	0.55	0.55	0.16	0.28	0.45	0.51	0.52	0.52	
		9	10	- ú	14	23	525	9	10	11	14	23	525	
		50%	60%	70%	80%	90%	100%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
	Поток 161 МГц, с.е.п.							Поток 161 МГц, с.е.п.						

Рис. 2.2.1.6.1. Матрицы корреляции среднесуточного потока (слева — корреляция Пирсона, справа — корреляция Спирмена) при разных процентилях выборок данных: верхний ряд — корреляция между потоком на частоте 161 МГц и F10.7; нижний ряд — корреляция между потоками на частотах 161 и 245 МГц

Публикация:

Сетов А.Г., Кушнарев Д.С. Корреляционный анализ абсолютных измерений солнечного потока на частотах 161 и 245 МГц // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 54–62. DOI: 10.12737/szf-94202306.
2.2.1.7. Статистический анализ индексов 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.ф.-м.н. К.Г. Ратовский¹, д.ф.-м.н. М.В. Клименко², А.В. Веснин¹, К.В. Белюченко¹.

¹ИСЗФ СО РАН, ²КФ ИЗМИРАН

Статистический анализ индексов геомагнитной активности позволил получить следующие основные результаты. Разработанный ранее метод идентификации геомагнитных бурь на основе индекса *Dst* обобщен на идентификацию бурь на основе индексов *Ap* и *AE*. Определены пороговые значения индексов Ар и АЕ таким образом, чтобы количество всех магнитных бурь (Dst=-50, Ap = 48, AE = 930 нТл) и сильных магнитных бурь (Dst=-100, Ap = 111, AE = 1280 нТл) было максимально близким к количеству бурь по индексу Dst. Геомагнитная буря, идентифицированная по Dst-индексу, в подавляющем большинстве случаев будет также идентифицирована по индексам АЕ (85 % общих бурь) и Ар (94 % общих бурь). Несколько другая ситуация возникает при переходе к сильным бурям: здесь количество общих бурь падает до 62 % для Dst и AE и до 77 % для Dst и Ap. При переходе к изолированным бурям количество общих бурь еще падает: до 48 % для Dst и AE и до 51 % для Dst и Ap. Таким образом, сильная буря, идентифицированная по Dst-индексу, не обязательно является таковой при идентификации по АЕ- либо Ар-индексу. Изолированная буря, идентифицированная по Dst-индексу, только в приблизительно половине случаев является таковой при идентификации по АЕ либо Ар. Для изолированных бурь проведен расчет динамики средних значений индексов Dst и AE методом наложенных эпох с ключевыми моментами времени, соответствующими минимумам Dst и максимумам AE для Dst- и AE-бурь соответственно. Динамика средних значений Dst для изолированных Dst-бурь позволила выявить предбуревую фазу, основную фазу и фазу восстановления геомагнитной бури (рис. 2.2.1.7.1). Осуществлена аппроксимация динамики средних значений АЕ-инлекса.



Puc. 2.2.1.7.1. Динамики средних значений индексов *Dst* (слева) и *AE* (справа) методом наложения эпох с ключевыми моментами времени, соответствующими минимумам *Dst* и максимумам *AE* для *Dst*- и *AE*-бурь соответственно. Вертикальные красные линии на левой панели показывают границы главной фазы магнитной бури

Публикация:

Ratovsky K.G., Klimenko M.V., Vesnin A.M., Belyuchenko K.V. Statistical analysis of geomagnetic activity indices // Atmosphere, Ionosphere, Safety: Proceedings of VIII International Conference. Kaliningrad: Algomat, 2023. P. 51–55. DOI: 10.59043/9785604204474_51.

2.2.1.8. Анализ частоты девиации сигналов 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 — д.т.н. В.В. Демьянов^{1,2}, Е.И. Данильчук³, к.т.н. М.А. Сергеева⁴, д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич¹.

¹ИСЗФ СО РАН, ²ИрГУПС, ³ИГУ, ⁴Instituto de Geofisica (Mexico)

Проведено исследование частоты девиации — границы между информативной и неинформативной частью спектра фазы несущей — различных компонент сигналов, используемых глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС). Анализ проведен для спокойных (13 апреля 2021 г., 8 апреля 2022 г., 2 сентября 2022 г.) и возмущенных (16 апреля 2021 г., 10 апреля 2022 г., 4 сентября 2022 г.) условий. Результаты показывают увеличение частоты девиации при геомагнитных возмущениях (рис. 2.2.1.8.1). Данный эффект был обнаружен для всех ГНСС и всех типов сигналов вне зависимости от навигационной системы, типа приемника, частоты регистрации (50 Гц, 100 Гц). Для измерений на частоте 100 Гц наиболее вероятные значения частоты девиации лежат в интервале ~28– 40 Гц в спокойных условиях и ~37–48 Гц во время слабых геомагнитных бурь. Увеличение частоты девиации до 35–50 Гц может использоваться как индикатор появления интенсивных мелкомасштабных неоднородностей.



Рис. 2.2.1.8.1. Гистограмма распределения частоты девиации в спокойных (a, c) и возмущенных (b, d) условиях для сигнальных компонент GPS L2L (a, b) и GPS L5Q (c, d)

Публикация:

Demyanov V., Danilchuk E., Sergeeva M., Yasyukevich Y. An increase of GNSS data time rate and analysis of the carrier phase spectrum // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, 792. 14 p. DOI: 10.3390/rs15030792.

2.2.1.9. Исследования связи перемещающихся ионосферных возмущений с нейтральным ветром по данным радаров когерентного 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. М.В. Толстиков, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, М.Ф. Артамонов, к.ф.-м.н. И.В. Медведева, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

Ранее был разработан метод оценки нейтрального ветра по статистике наблюдений двумерного вектора фазовой скорости перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) на российских радарах когерентного рассеяния. Метод основан на гипотезе ветровой фильтрации внутренних гравитационных волн. Различие между моделью HWM14 и оценкой нейтрального ветра для североамериканских радаров оказалось существенно меньше, чем для российских радаров. Возможно, причина этого кроется в самой модели HWM14, для которой использовались данные большого количества инструментов, расположенных в Северной Америке (рис. 2.2.1.9.1). Процент ПИВ, лежащих в области отрицательной проекции нейтрального ветра, рассчитанного по модели HWM14, составляет более 70 % для североамериканских радаров и ~60 % для российских и южноамериканских радаров. Анализ данных североамериканских радаров во время внезапного стратосферного потепления 2013 г. показал, что в период потепления заметно уменьшается процент ПИВ, лежащих в области отрицательной проекции нейтрального ветра, по сравнению средним процентом ПИВ для зимнего сезона.



Рис. 2.2.1.9.1. Расположение радаров когерентного рассеяния. Зеленым показаны точки наблюдения американских радаров, синим — точки наблюдения российских радаров, красными точками — стационарные инструменты, используемые при построении модели HWM14 (интерферометры, лидары, радары некогерентного рассеяния)

Публикация:

Толстиков М.В., Ойнац А.В., Артамонов М.Ф., Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование взаимодействия перемещающихся ионосферных возмущений с нейтральным ветром по данным радаров когерентного рассеяния // Сборник докладов XXVIII Всероссийской открытой научной конференция «Распространение радиоволн». 2023. С. 200–204.

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. Моделирование КВ-радиоканала 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 — д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. Н.В. Ильин, М.С. Пензин, к.ф.-м.н. С.Н. Пономарчук, к.ф.-м.н. В.В.Хахинов.

Развита комплексная модель КВ-радиоканала, включающая передающее и приемное устройства, антенно-фидерные системы, ионосферный радиоканал и программный комплекс расчета характеристик радиосигналов на основе волноводного подхода — метода нормальных волн. Получено представление передаточной функции радиоканала в виде ряда произведений функций Грина углового оператора, коэффициентов возбуждения, коэффициентов приема отдельных нормальных волн для ТМ- и ТЕ-полей. В рамках метода нормальных волн модифицирована схема решения радиальной задачи и построения спектра радиального оператора с учетом поглощения поля сигнала в ионосфере и земной поверхности. Это позволяет проводить моделирование КВ-радиоканала в частотном диапазоне, включающем значения ниже критической частоты F2-слоя ионосферы. На основе анализа и численного суммирования ряда нормальных волн разработаны алгоритмы и программы расчета дистанционно-частотных (рис. 2.2.2.1.1), угловых частотных и амплитудных характеристики сигналов, включая развертку сигнала. Моделирование характеристик радиосигналов проводится для различных типов модуляции излучаемого сигнала с учетом обработки сигнала в приемном устройстве для радиотрасс различной протяженности и ориентации. Для исследования КВ-радиотрасс и диагностики радиоканала был реализован программный комплекс, включающий модели ионосферы и подстилающей поверхности, базу данных передающих и приемных антенн и модули расчета характеристик сигналов. Вычисления проводятся с использованием комплексной арифметики. На основе развитой схемы моделирования характеристик сигналов разработаны алгоритмы оперативной диагностики радиоканала по данным наклонного и возвратно-наклонного зондирования ионосферы.



Рис. 2.2.2.1.1. Ионограммы наклонного зондирования, результаты моделирования и интерпретации

Публикации:

Куркин В.И., Ильин Н.В., Пензин М.С., Пономарчук С.Н., Хахинов В.В. Моделирование КВ-радиоканала на основе волноводного подхода // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 91–103. DOI: 10.12737/szf-94202311.

Ponomarchuk S., Ilyin N., Kurkin V., Penzin M. Modification to waveguide approach to study HF radio paths // 2022 IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC). IEEE, 2022. P. 246–249. DOI: 10.1109/RMC55984.2022.10079690.

2.2.2.2. Метод автоматического определения параметров ионосферы по данным вертикального зондирования ионосферы

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. Г.В. Котович.

Цифровой ионозонд с непрерывным линейно-частотно-модулированным (ЛЧМ) сигналом, разработанный в ИСЗФ СО РАН для изучения быстрых процессов в ионосфере, может регистрировать ионограммы вертикального зондирования (ВЗ) со скважностью несколько секунд. Большой объем получаемых данных предполагает автоматическую обработку и интерпретацию ионограмм ВЗ в режиме реального времени. Ионограмма — зависимость времени распространения сигнала от частоты — формируется по результатам спектрального анализа разностного сигнала на выходе приемника ЛЧМ-ионозонда. В общем виде регистрируемая ионограмма ВЗ — это матрица амплитуд, где каждый элемент определяется двумя характеристиками: действующей высотой отражения и частотой зондирования. Для выделения массива точек, соответствующих моментам прихода сигналов со значимой амплитудой, проводится вторичная обработка ионограммы на основе фильтрации исходных данных с последующим сжатием их методом клеточного автомата. Интерпретация ионограмм проводится по точкам со значимой амплитудой, выделенным при вторичной обработке данных, с использованием результатов моделирования высотночастотной характеристики (ВЧХ) сигналов ВЗ. Алгоритм интерпретации ионограмм ВЗ и выделения треков ВЧХ проводится по следующей схеме:

• построение амплитудных характеристик сигналов, отраженных от слоев ионосферы;

- выделение треков и идентификация сигналов, отраженных от слоев Е и Es;
- выделение области нахождения сигналов, отраженных от F1- и F2-слоев ионосферы;
- определение предельной частоты отражения сигнала ВЗ и контрольных точек ВЧХ;
- построение модельных масок для слоев F1 и F2 и определение их местоположения;

• выделение и идентификация следа обыкновенной компоненты сигналов, отраженных от слоев F1 и F2, с использованием местоположения модельных масок;

• формирование ВЧХ ВЗ и определение параметров ионосферных слоев.



Рис. 2.2.2.2.1. Ионограмма ВЗ: черные точки — результаты вторичной обработки; красная линия — высотно-частотная характеристика h'(f); бордовая линия — плазменная частота $f_e(h)$

В результате интерпретации ионограммы ВЗ определяются параметры Es-слоя, формируется высотно-частотная характеристика h'(f) для E- и F-слоев ионосферы для расчета профиля плазменной частоты $f_e(h)$ (рис. 2.2.2.2.1) и определения ионосферных параметров: критических частот, минимальных высот отражения для каждого ионосферного слоя и высоты максимума F2-слоя.

Публикация:

Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kotovich G.V. Technique of ionospheric parameters automatic determination from data of vertical sounding with a continuous chirp signal // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 127806Q. DOI: 10.1117/12.2688438.

2.2.2.3. Автоматическая интерпретация ионограмм наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом на основе гибридных алгоритмов

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.

На базе пространственно-распределенного многофункционального ЛЧМ-ионозонда, разработанного в ИСЗФ СО РАН, создана функционирующая в постоянном режиме сеть трасс наклонного зондирования (НЗ) ионосферы, охватывающая Северо-Восточный регион России. Большой объём получаемых данных предполагает автоматическую обработку и интерпретацию ионограмм НЗ в режиме реального времени. По сути, ионограмма НЗ является матрицей амплитуд, где каждый элемент определяется двумя характеристиками: временем распространения сигнала (групповым путем) и частотой зондирования. Для выделения массива точек, соответствующих моментам прихода сигналов со значимой амплитудой, проводится вторичная обработка ионограммы на основе фильтрации исходных данных с последующим сжатием их методом клеточного автомата. Основной задачей интерпретации ионограмм НЗ является выделение треков сигналов — зависимости группового пути от частоты — для модов распространения в ионосферных каналах с последующим определением максимальных применимых частот (МПЧ). Ионограммы НЗ можно разделить на два типа: 1) ионограммы, полученные в зимний, весенний и осенний сезоны (рис. 2.2.2.3.1) и в ночные часы летом; 2) ионограммы, полученные в дневные часы летом (рис. 2.2.2.3.2). Для интерпретации ионограмм первого типа используется метод модельной маски, построенной по результатам моделирования прогнозной дистанционночастотной характеристики сигналов НЗ на трассе распространения. Алгоритм идентификации мода распространения на ионограмме заключается в подсчете числа точек со значимой амплитудой в модельной маске на масштабированной сетке частот $\beta = f/f_m$, где f_m — МПЧ мода для рассматриваемой дальности. Маска движется по ионограмме без поворотов, путем совмещения носика маски с точками со значимой амплитудой. Значения частоты f_m^r и группового пути P_m^r , при которых достигается максимум числа точек, попадающих в маску, принимаются за реальные МПЧ и точку смыкания верхнего и нижнего лучей мода распространения. Для интерпретации сигналов, отражающихся от слоя Es, используется процедура выделения точек со значимой амплитудой для сигналов с почти постоянной задержкой в выделенных коридорах по групповому пути на ионограммах НЗ. Для интерпретации летних ионограмм НЗ разработан гибридный алгоритм на основе анализа амплитудных характеристик принимаемого сигнала. Амплитудные характеристики используются для разделения области ионограммы на отдельные подобласти, в пределах которых выделение и идентификация треков проводится методом модельной маски.



Рис. 2.2.2.3.1. Ионограмма НЗ (серые точки) и результаты интерпретации (синие точки)



Рис. 2.2.2.3.2. Ионограмма НЗ (серые точки) и результаты интерпретации модов 1Es и 2Es (бордовые точки), 1F1 и 2F2 (синие точки)

Публикация:

Ponomarchuk S.N., Grozov V.P. Automatic interpretation of ionograms of oblique sounding with a continuous chirp signal based on hybrid algorithms // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 127806R. DOI: 10.1117/12.2688445.

2.2.2.4. Статистическое исследование рассеяния декаметровых радиоволн на ионосферных неоднородностях по данным КВ-радаров ЕКВ и MGW

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. Автор результата — к.ф.-м.н. А.В. Ойнац.

По данным КВ-радаров ЕКВ (декабрь 2012 г. — сентябрь 2022 г.) и MGW (октябрь 2020 г. — сентябрь 2022 г.) проведено статистическое исследование наблюдений ионосферного эха — рассеяния на вытянутых вдоль линий геомагнитного поля ионосферных неоднородностях декаметрового масштаба. Изучены зависимости относительной частоты наблюдения ионосферного эха от магнитного локального времени, магнитной широты, уровня геомагнитной и солнечной активности. В частности, по данным ЕКВ обнаружено, что наиболее часто ионосферное эхо наблюдается: в полуденном секторе (~8–13 MLT) в диапазоне 72-76°MLAT; в ночном (~22-04 MLT) и дневном секторах (~08-19 MLT) в диапазоне 58-65° MLAT. Максимальная относительная частота наблюдения достигает 8 % в вечернем секторе (~16-17 MLT) на широтах 58-62°MLAT. На рис. 2.2.2.4.1 приведены распределения относительной частоты наблюдения ионосферного эха для трех уровней геомагнитной активности: *а* — в спокойных условиях (*K*_p<2); *б* — при слабой геомагнитной активности (2<K_p<3); в — при сильной геомагнитной активности (K_p>3). Видно, что с увеличением Кр относительная частота наблюдения ионосферного эха в ночном секторе возрастает с ~2.5 % при K_p < 2 до ~6 % при K_p >3, ее максимум смещается с 64° до 61°MLAT. Белыми линиями на рис. 2.2.2.4.1 показано положение главного ионосферного провала (ГИП) для соответствующих крайних значений индекса K_p. Видно, что ночной и вечерний максимумы наблюдения ионосферного эха лежат соответственно на экваториальной и полярной стенках ГИП. Показано также, что с увеличением/уменьшением солнечной активности относительная частота наблюдения ионосферного эха возрастает/убывает, что, по-видимому, может быть связано с увеличением/уменьшением рефракции коротких радиоволн в субавроральной ионосфере.



Рис. 2.2.2.4.1. Суточно-широтное (магнитные широта и локальное время) распределение частоты наблюдения рассеяния на ионосферных неоднородностях декаметрового масштаба по данным КВ-радара ЕКВ: a — в спокойных условиях (Kp<2), δ — при слабой геомагнитной активности (2 < Kp < 3), e — при сильной геомагнитной активности (Kp > 3)

Публикация:

Oinats A.V. Ionospheric echo occurrence observed by the EKB and MGW HF radars during quiet and disturbed geomagnetic conditions // Proc. International Conference "Atmosphere, ionosphere, safety" (AIS-2023). Kaliningrad, 2023. P. 68–71. DOI: 10.59043/9785604204474_68.

2.2.2.5. Учет шероховатости земной поверхности в моделях распространения и рассеяния 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 — к.ф.-м.н. А.В. Ойнац, магистрант Д.Ф. Валиулин.

С помощью цифровых карт рельефа земной поверхности, основанных на данных SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), проанализированы статистические свойства шероховатости (неровности) земной поверхности в секторе обзора КВ-радара ЕКВ. Проведена оценка условий применимости приближения метода малых возмущений для расче-

та амплитуды рассеянного поля декаметровых радиоволн. Разработаны алгоритмы расчета одномерной спектральной плотности высот земной поверхности, являющейся фурьеобразом корреляционной функции, ее аппроксимации экспоненциальной и гауссовой функциями, а также коэффициента обратного рассеяния радиоволн. Предложен прототип модели рассеивающих свойств земной поверхности, пригодный для использования в численных моделях распространения/рассеяния радиоволн.

Карта высот квадрата N58E070 (58° N 70° E), соответствующая ей функция автокорреляции, рассчитанная с учетом длительности импульса в стандартном режиме работы КВ-радаров, и коэффициент обратного рассеяния поля горизонтальной поляризации (для частоты 10 МГц) в зависимости от угла места для экспоненциальной аппроксимации представлены на рис. 2.2.2.5.1.



Рис. 2.2.5.1. Карта высот для квадрата N58E070 (*a*); двумерная функция корреляции высот (б); коэффициент обратного рассеяния поля горизонтальной поляризации (для частоты 10 МГц) для экспоненциальной модели в зависимости от угла места: зеленая и желтая кривые — вдоль меридиана и вдоль параллели соответственно (*в*)

Публикация:

Ойнац А.В., Валиулин Д.Ф. Об учете шероховатости земной поверхности в моделях распространения и рассеяния радиоволн // Сборник докладов XXVIII Всероссийской открытой научной конференции. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 156–159.

2.2.2.6. Характеристики и продольная протяженность ОНЧ квазипериодических эмиссий по данным мультипозиционных наземных измерений

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 — С. Martinez-Calderon¹, Т. Oonishi¹, K. Shiokawa¹, J.K. Manninen², к.ф.-м.н. А.В. Ойнац³, М. Ozaki⁴.

- ¹ Институт исследований околоземного космического пространства, Нагоя, Япония
- ² Геофизическая обсерватория Содянкюля, Содянкюля, Финляндия
- ³ ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия
- ⁴ Университет Канадзавы, Канадзава, Япония

Квазипериодические (QP) эмиссии — тип магнитосферных КНЧ/ОНЧ-волн, характеризующихся периодической модуляцией интенсивности в диапазоне от десятков секунд до нескольких минут. Рассматривались 63 QP-события, зарегистрированных с января 2017 г. по декабрь 2018 г. Изначально обнаружив эмиссии на ОНЧ-приемнике в обсерватории Каннуслехто, Финляндия (KAN, MLAT = 67.7° с.ш., L = 5.5), мы проверили, наблюдались ли эти события одновременно на других субавроральных приемниках. Для этого использовались станции PWING Атабаска (АТН, MLAT = 61.2° с.ш., L = 4.3, Канада), Гакона (GAK, MLAT = 63.6° N, L = 4.9, Аляска), Хусафелл (HUS, MLAT = 64.9° N, L = 5.6, Исландия), Исток (IST, MLAT = 60.6° N, L = 6.0, Россия), Капускасинг (КАР, MLAT = 58.7° N, L = 3.8, Канада), Маймага (MAM, MLAT = 58.0° N, L = 3.6, Россия) и Найн (NAI, MLAT = 65.8° N, L = 5.0, Канада). Было выявлено следующее: 1) QP-эмиссии, обнаруженные на ст. КАN, имели более длительное время наблюдения (1–10 ч), чем QP-эмиссии на других станциях; 2) 11.3 % эмиссий на ст. КАN имели однозначное соответствие на ст. IST; 3) ни одна станция, кроме IST, одновременно не наблюдала того же QP-излучения, что и КАN. Поскольку станции КАN и IST разделены по долготе на 60.6°, по нашим оценкам, максимальный меридиональный разброс сопряженных QP-эмиссий должен быть близок к 60°, или 4 MLT. Данное исследование является первым, которое прояснило продольное распространение QP-волн, наблюдаемых на земле, путем анализа одновременных наблюдений в течение двух лет с использованием нескольких наземных станций.

Публикация:

Martinez-Calderon C., Oonishi T., Shiokawa K., Manninen J.K., Oinats A., Ozaki M. Characteristics and longitudinal extent of VLF quasi-periodic emissions using multi-point ground-based observations //Earth Planets Space. 2023. Vol. 75, 148. DOI: 10.1186/s40623-023-01898-1.

2.2.2.7. Статистическое исследование продольной протяженности пульсаций Pc1 с использованием наземных станций PWING в субавроральных широтах

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 — J. Liu¹, K. Shiokawa¹, S.-I. Oyama^{1,2,3}, Y. Otsuka¹, C.-W. Jun¹, M. Nosé¹, T. Nagatsuma⁴, K. Sakaguchi⁴, A. Kadokura^{2,5,6}, M. Ozaki⁷, M. Connors⁸, Д. Баишев⁹, N. Nishitani¹, к.ф.-м.н. А.В. Ойнац¹⁰, д.ф.-м.н. В.И. Куркин¹⁰, Т. Raita¹¹.

¹ – Институт исследований околоземного космического пространства, Нагоя, Япония

² – Национальный институт полярных исследований, Токио, Япония

³ – Университет Оулу, Оулу, Финляндия

⁴ – Национальный институт информационных и коммуникационных технологий, Коганей, Япония

⁵ – Научный центр данных полярной окружающей среды, Токио, Япония

⁶ – Высший университет перспективных исследований, Канагава, Япония

⁷ – Университет Канадзавы, Канадзава, Япония

⁸ – Университет Атабаски, Эдмонтон, АВ, Канада

⁹ – ИКФИА СО РАН, Якутск, Россия

¹⁰ – ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

¹¹ – Геофизическая обсерватория Содянкюля, Содянкюля, Финляндия

Геомагнитные пульсации Pc1 соответствуют электромагнитным ионноциклотронным волнам в магнитосфере и возбуждаются там с частотами 0.2–5 Гц. Мгновенная продольная протяженность Pc1-волн на земле еще не оценена. В данном исследовании мы анализируем пульсации Pc1, наблюдавшиеся на семи долготно распределенных наземных станциях в субавроральных широтах на ~60°MLAT с июля 2018 г. по июнь 2019 г. Частота появления пульсаций Pc1 максимальна (14–39.6 %) в послеполуденном секторе и имеет локальный минимум (4.1–8.1%) в полночь. Средняя частота пульсаций становится максимальной (0.6–1.1 Гц) после полуночи и минимальной (0.3–0.5 Гц) после полудня на всех семи станциях. Обнаружена тенденция возрастания частоты появления Pc1 с увеличением магнитной широты. Основываясь на этих наблюдениях, мы получили максимум в вероятностном распределении Pc1-волн на мгновенной продольной протяженности ~82.5° с полумаксимумом на ~114°, хотя на это вероятностное распределение может оказывать влияние ограниченное количество станций. Мы провели также модельные расчеты возможной продольной протяженности с использованием искусственных случайных Pc1-волн с фиксированной протяженностью. Сравнение результатов модели с наблюдениями предполагает продольную протяженность 70–86°, сравнимую с максимумом в вероятностном распределении (~82.5°). Метод наложенных эпох показывает, что продольная протяженность Pc1-волн имеет тенденцию к увеличению во время восстановительной фазы геомагнитных бурь.

Публикация:

Liu J., Shiokawa K., Oyama S.-I., Otsuka Y., Jun C.-W., Nosé M., Nagatsuma T., Sakaguchi K., Kadokura A., Ozaki M., Connors M., Baishev D., Nishitani N., Oinats A., Kurkin V., and Raita T. A statistical study of longitudinal extent of Pc1 pulsations using seven PWING ground stations at subauroral latitudes // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2023. Vol. 128, e2021JA029987. DOI: 10.1029/2021JA029987.

2.2.2.8. Определение наинизших наблюдаемых частот по данным наклонного зондирования во время рентгеновских солнечных вспышек

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.А. Рыбкина, А.И. Поддельский.

Разработан метод автоматического определения наинизшей наблюдаемой частоты (ННЧ) по данным наклонного зондирования (НЗ) непрерывным ЛЧМ-сигналом в периоды солнечных вспышек. Работа программы анализируется на примере двух солнечных рентгеновских вспышек классов X4.9 25.02.2014 и M5.5 02.10.2015. Для вычисления ННЧ сначала рассчитывались зависимости сумм амплитуд от группового пути ($\sum A(P)$). Амплитуды, вычисленные по уровню 30 отн. ед., суммировались на интервале от минимального до максимального группового пути на каждом участке в 10 км для 00:41 и 00:51 UT. Далее проводился анализ сумм амплитуд в зависимости от частоты в выбранном диапазоне групповых путей. Вычислялось приращение сумм амплитуд на каждом шаге 0.3 МГц, отнесенное к среднему значению сумм амплитуд. Наинизшая наблюдаемая частота определялась в том случае, когда относительное приращение сумм амплитуд в первый раз провысит 0.1 со стороны более низких частот.

Для оценки точностных характеристик описанной выше программы определения ННЧ была рассмотрена более слабая рентгеновская солнечная вспышка 02.10.2015. Эта вспышка длилась с 0:06 по 0:17 UT с максимумом в 0:13 UT. На рис. 2.2.2.8.1 на левой панели приведены результаты ручного (синяя линяя) и автоматического (черная линия) определения ННЧ по данным НЗ, полученным на трассе Хабаровск — Торы 02.10.2015. На правой панели представлена гистограмма относительных отклонений результатов ручного и автоматического определения ННЧ для 02.10.2015.



Рис. 2.2.2.8.1. Результаты ручного (синяя линяя) и автоматического (черная линия) определения ННЧ для 0–5 UT 02.10.2015 (левая панель) и гистограмма относительных ошибок определения ННЧ для 02.10.2015 (правая панель)

Таким образом, ННЧ, полученные с помощью программы автоматической обработки данных НЗ во время солнечных вспышек 25.02.2014 и 02.10.2015, хорошо согласуются с результатами ручной обработки, и данную программу можно использовать для геофизического анализа откликов ННЧ на рентгеновские солнечные вспышки.

Публикация:

Ivanova V.A., Podlesnyi A.V., Rybkina A.A., Poddelsky A.I. Automatic processing of lowest observed frequencies using oblique incidence sounding data during solar X-ray flares // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 127807D. DOI: 10.1117/12.2690726.

2.2.2.9. Зоны влияния ПИВ различных масштабов на ионограммы наклонного зондирования ионосферы

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 — А.В. Софьин, д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

На основе численного моделирования Z-образных искажений на ионограммах наклонного зондирования (H3) ионосферы (рис. 2.2.2.9.1) с использованием гауссовой модели перемещающегося ионосферного возмущения (ПИВ) волнового типа получены оценки характеристик ПИВ, удовлетворяющие наблюдаемым искажениям ионограмм наклонного зондирования на трассах Норильск — Торы и Магадан — Торы. Выявлено, что в рамках использованного приближения Z-образные искажения на ионограммах H3 проявляются при значениях амплитуды возмущения δ от 0.05 и выше. Пространственные масштабы возмущений, оказывающих существенное влияние на ионограммы H3, принимают значения от десятков до сотен км (20–600 км). Проведена количественная оценка пространственных областей, в которых ПИВ оказывают заметное воздействие на ионограммы односкачковых трасс. Так, для трассы Норильск — Торы высоты наибольшего воздействия неоднородности располагаются от 195 км до 305 км, а ширина зоны, где сохраняется присутствие Z-петли, составляет около 600 км вблизи центра трассы.



Рис. 2.2.2.9.1. Численно моделированная ДЧХ с искажением Z-типа

Получены оценки времени жизни ПИВ на ионограммах НЗ. При вертикальном движении ПИВ оно составляет 7–20 мин, при горизонтальном движении — 39–133 мин, при движении под углом к горизонту — 11–84 мин. Полученные результаты позволяют оценивать диагностические возможности ионозондов для односкачковых радиотрасс.

Публикация:

Sofyin A.V., Kurkin V.I. Stadying the impacts of spatial structure TIDs on ionograms of oblique incidence sounding of the ionosphere // 2022 IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC). IEEE, 2022. P. 258–261. DOI: 10.1109/RMC55984.2022.10079543.

2.2.2.10. Исследование характеристик среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений по данным наклонного зондирования 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 — д.ф.-м.н. В.И. Куркин, к.ф.-м.н. А.В. Подлесный, к.ф.-м.н. И.В. Медведева, М.В. Цедрик.

Анализ характеристик среднемасштабных перемещающихся ионосферных возмущений (СМ ПИВ) проводился в годы умеренной солнечной активности (2015-2016 гг.) по данным НЗ на среднеширотных и субполярных односкачковых радиотрассах различной ориентации. Выявлена высокая среднесуточная вероятность регистрации СМ ПИВ на ионограммах НЗ для среднеширотных радиотрасс (до 40-50 %). При этом суточный ход вероятности регистрации ПИВ (Pt) на среднеширотных радиотрассах в Азиатском регионе России имеет ярко выраженную сезонную зависимость. Для зимнего сезона наблюдается дневной максимум $P_{\rm f}$, достигающий в отдельные дни 100 %. В летний сезон максимум P_t приходится на ночные часы местного времени в средней точке соответствующей трассы (рис. 2.2.2.10.1). Наиболее вероятной причиной этого является переход от зимней системы атмосферной циркуляции к летней. Поэтому в весенний и осенний сезоны регистрируются существенные изменения как вероятности регистрации ПИВ ото дня ко дню, так и длительности регистрации отдельных ПИВ в течение суток. Внезапное стратосферное потепление типа minor в феврале 2016 г. несущественно изменило характеристики СМ ПИВ, регистрируемых на рассматриваемых трассах H3 в Азиатском регионе России. Финальное потепление в начале марта 2016 г., сопровождавшееся реверсом зонального ветра на 60° N, 10 гПа, вызвало существенные вариации характерных длительностей регистрации конкретных ПИВ на всех трассах ото дня ко дню, резкое уменьшение средней вероятности регистрации ПИВ на меридиональной трассе 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.



Рис. 2.2.2.10.1. Суточный ход вероятности наблюдения ПИВ *P*_t на трассе Хабаровск — Иркутск в январе 2016 г. (левая панель) и в июне 2015 г. (правая панель): точки — среднемесячные значения вероятности для каждого часа; вертикальные линии — разброс значений вероятности ото дня ко дню

Публикации:

Kurkin V.I., Medvedeva I.V., Podlesnyi A.V. Effect of sudden stratosphere warming on characteristics of medium-scale traveling ionospheric disturbances in the Asian region of Russia // Adv. Space Res. 2023. DOI: 10.1016/j.asr.2023.09.020.

Kurkin V.I., Podlesnyi A.V., Cedrik M.V. Investigation of seasonal features of the characteristics of medium-scale TIDs in the Asian region of Russia // 2022 IEEE 8th All-Russian Micro-wave Conference (RMC). IEEE, 2022. P. 242–245. DOI: 10.1109/RMC55984.2022.10079605.

2.2.2.11. Способ местоопределения источников декаметрового радиоизлучения

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, д.ф.-м.н. В.И. Куркин.

Способ относится к радиопеленгации и может быть реализован в системах радиоконтроля и радиолокации для местоопределения источника декаметрового радиоизлучения по частоте f, азимуту Ψ и углу места Δ приходящей ионосферной радиоволны с использованием данных возвратно-наклонного зондирования (BH3) ионосферы (рис. 2.2.2.11.1).



Рис. 2.2.2.11.1. Способ местоопределения источников декаметрового радиоизлучения

Техническим результатом является повышение точности местоопределения источников декаметрового радиоизлучения угломерно-дальномерным методом. Способ заключается в определении дальности D до источника радиоизлучения (ИРИ) по переднему фронту диагностического сигнала ВНЗ путем корректировки рассчитанных по медианной модели ионосферы углов места приходящей радиоволны для различных удалений от точки приема в секторе поиска. Способ включает прием и измерение азимута и угла места ионосферной радиоволны от ИРИ, ВНЗ ионосферы в направлении азимута прихода радиоволны, выделение переднего фронта сигнала ВНЗ на ионограмме, определение максимальных применимых частот (МПЧ) наклонного зондирования на сетке дальностей по переднему фронту сигнала ВНЗ, корректировку прогнозных угловых частотных характеристик наклонного распространения на сетке дальностей по МПЧ и определение дальности до ИРИ по частоте и углу места и расчет координат ИРИ (θ , ϕ).

Публикация:

Патент № 2798776 С1 Российская Федерация, МПК G01S 5/02, G01S 13/02. Способ местоопределения источников декаметрового радиоизлучения : № 2022119293 : заявл. 13.07.2022 : опубл. 27.06.2023 / С. Н. Пономарчук, В. И. Куркин; заявитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук.

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

2.2.3.1. Изучение возможности использования электрического потенциала ионосферы в качестве параметра, характеризующего воздействие солнечной активности на тропосферу

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.

Проанализирована возможность использования электрического потенциала (ЭП) ионосферы в качестве параметра, характеризующего влияние гелиогеофизических возмущений на тропосферу, для параметризации механизма влияния солнечной активности на нижнюю атмосферу, изучаемого в ИСЗФ СО РАН. ЭП рассчитывался на основе полуэмпирической модели, в которой пространственное распределение потенциала определяется вариациями параметров солнечного ветра, межпланетного магнитного поля, а также *AL*-индексом геомагнитной активности. Для периода 1975–2019 гг. проведен сравнительный анализ вариаций ЭП и индексов геомагнитной активности, которые обычно используются в современных исследованиях солнечно-тропосферных связей (рис. 2.2.3.1.1). Показано, что ЭП можно использовать в качестве индикатора солнечной активности, поскольку он описывает как ее короткопериодические возмущения, так и долговременные вариации. Обнаружена синхронность долговременных вариаций ЭП и приповерхностной температуры (рис. 2.2.3.1.1). Это позволяет предположить, что изменения параметров климатической системы связаны с более медленными изменениями крупномасштабного магнитного поля Солнца.



Рис. 2.2.3.1.1. Средние месячные значения ЭП (красная линия) и геомагнитных индексов $K_p \times 10$ (зеленая линия) и *PC* (синяя линия), сглаженные по 12 точкам; средняя годовая приповерхностная температура *T* (черная линия) с 1975 по 2019 г.

Публикация:

Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Ionospheric electric potential as an alternative indicator of solar effect on the lower atmosphere // Solar-Terrestrial Physics. 2023. Vol. 9, iss. 2. P. 103–106. DOI: 10.12737/stp-92202313.

2.2.3.2. Анализ пространственного распределения тропосферного отклика на воздействие электрического потенциала ионосферы

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

Выполнен корреляционный анализ пространственного распределения электрического потенциала (ЭП) ионосферы и карт приповерхностной температуры (рис. 2.2.3.2.1, *a*), а также проанализированы карты линейной связи *PC*-индекса геомагнитной активности с температурой (рис. 2.2.3.2.1, *б*) за период с 1975 по 2019 г. Показано, что положительная связь преобладает между ЭП и температурой, т. е. получен однозначный температурный отклик на солнечное воздействие в пространстве. Различия, которые наблюдаются в секторе Арктики (область отрицательных коэффициентов корреляции), возможно, обусловлены естественными особенностями условий в тропосфере. Поэтому проанализирована динамика потоков явного и скрытого тепла в секторе Арктики за рассматриваемый период (рис. 2.2.3.2.1, *в*, *г*). Показано, что сумма потоков явного и скрытого тепла уменьшается в Арктическом секторе. Скорость понижения суммы потоков явного и скрытого тепла выше в области антикорреляции между ЭП и температурой. Таким образом, нарушение связи между процессами на Солнце и приповерхностной температурой вызвано изменением свойств климатической системы.



Рис. 2.2.3.2.1. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между приповерхностной температурой и электрическим потенциалом (*a*) и индексом *PC* (*б*); области, в которых их значения ниже стандартного отклонения, заштрихованы зеленым. Сумма потоков явного и скрытого тепла: пространственное распределение (*в*), вариации, усредненные для области широт выше 50° с.ш. (*г*); тонкие красные линии обозначают уровень значимости 99 %

Публикация:

Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Possibility to apply ionospheric electric potential in the problem of solar-troposphere relations // Proc. SPIE. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2023. 1278070. DOI: 10.1117/12.2689536.

2.2.3.3. Асимметрия ионосферного отклика на землетрясения в Турции и Сирии 6 февраля 2023 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 — А.М. Веснин¹, д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич¹, д.ф.-м.н. Н.П. Перевалова¹, PhD E. Senturk².

¹ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; ²Косаеli University, Kocaeli, Turkey

В Турции и Сирии 6 февраля 2023 г. произошла серия землетрясений, два из которых имели магнитуду больше 7 по шкале Рихтера: в 01:17:34 UT (Mw=7.8) и в 10:24:50 UT (Mw=7.5). Проведен анализ ионосферных эффектов этих землетрясений по данным глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) с использованием разработанной в ИСЗФ СО РАН системы SIMuRG. Показано, что волновые возмущения в ионосфере наблюдались на расстоянии свыше 750 км от эпицентров.

Использование в анализе различных параметров позволило разделить моды возникших ионосферных возмущений: индекс *ROTI* выявил возмущение, связанное с волной Рэлея, а отфильтрованные в диапазоне 20–10 мин вариации полного электронного содержания (ПЭС) — возмущения, связанные с акустическими атмосферными волнами.

Обнаружена асимметрия отклика ионосферы на два землетрясения с близкой магнитудой (рис. 2.2.3.3.1): отклик на дневное землетрясение (10:24:50 UT) в пять раз превышал отклик на ночное (01:17:34 UT). Выявлена значительная асимметрия в распространении акустической моды, перемещавшейся преимущественно на юг (рис. 2.2.3.3.1, *a*). В распространении возмущения, вызванного волной Рэлея, такой асимметрии не наблюдалось.



Рис. 2.2.3.3.1. Индекс *ROTI* (*a*, *б*) и вариации фильтрованного ПЭС (*в*, *г*), рассчитанные по данным приемников ГНСС, после двух землетрясений в Турции — Сирии 6 февраля 2023 г.: в 01:17:34 UT (*a*, *в*) и в 10:24:50 UT (*б*, *г*)

Публикация:

Vesnin A., Yasyukevich Y., Perevalova N., Senturk E. Ionospheric response to the 6 February 2023 Turkey–Syria earthquake // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, 2336. DOI: 10.3390/rs15092336.

2.2.3.4. Возмущения в ионосфере, вызванные подземным ядерным испытанием в Северной Корее 3 сентября 2017 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 (ИСЗФ СО РАН), к.г.-м.н. Н.В. Шестаков (ДВГУ, ИПМ ДВО РАН)

По данным сетей наземных приемников GPS/ГЛОНАСС исследованы ионосферные возмущения, вызванные подземным ядерным испытанием (взрывом), проведенным в Северной Корее 3 сентября 2017 г. Возмущения в ионосфере начали регистрироваться через ~8 мин после взрыва и наблюдались более пяти часов.

В первые полтора-два часа после взрыва регистрировались перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ), распространявшиеся от эпицентра со скоростями ~600, 250 и 133 м/с (рис. 2.2.3.4.1, *a*). Эти ПИВ подобны тем, что наблюдаются после землетрясений, и могут быть отнесены к акустическим волнам, вызванным в атмосфере подземным ядерным испытанием.

Особенностью реакции ионосферы на подземное ядерное испытание стало формирование над местом взрыва долгоживущей области малоподвижных возмущений, скорость которых составляла около 7 м/с (рис. 2.2.3.4.1). Область образовалась после прохождения ПИВ и наблюдалась более 3.5 ч. Малоподвижные возмущения регистрировались на горизонтальных расстояниях до 1000 км от эпицентра. Фронт возмущений был вытянут с югозапада на северо-восток (рис. 2.2.3.4.1, δ). Причиной формирования данной области может быть образование стоячих волн в атмосфере, развитие плазменных неустойчивостей или проникновение в ионосферу аномального электрического поля, вызванного просочившимися на поверхность радиоактивными веществами.



Рис. 2.2.3.4.1. Диаграмма дальность — время для ионосферных возмущений, вызванных подземным ядерным испытанием 3 сентября 2017 г. (*a*); красной стрелкой отмечен момент взрыва (03:30 UT); цвет точек обозначает скорость распространения возмущения (красные цифры); черными линии — аппроксимирующие прямые. Карта малоподвижных возмущений ПЭС над зоной подземного ядерного испытания по данным ГЛОНАСС-спутника R21 в 08:24–09:30 UT (б). Черной точкой отмечен эпицентр взрыва

Публикация:

Perevalova N.P., Dobrynina A.A., Shestakov N.V., Meng G., Wu W., Sankov V.A. Seismic and ionospheric disturbances caused by the 3 September 2017 underground nuclear test in North Korea // Adv. Space Res. 2023. Vol. 71. P. 5121–5134. DOI: 10.1016/j.asr.2023.02.005.

2.2.3.5. Оценка времени начала извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г.

Проект «Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных временных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропогенных воздействий», руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Автор результата — д.ф.-м.н. Н.П. Перевалова

На основе анализа первых короткопериодных ионосферных возмущений, вызванных извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г., уточнено время начала извержения.

Время начала извержения является одной из до конца не решенных проблем, связанных с вулканом. В большинстве исследований за время начала извержения принимают момент 04:14:45 UT, указанный Геологической службой США (US Geological Survey, USGS, https://earthquake.usgs.gov/). Однако наблюдения возмущений в ионосфере показывают, что извержение не могло начаться в 04:15 UT.

Для оценки времени начала извержения в рамках проекта проведен анализ вызванных извержением вулкана возмущений ПЭС в диапазоне периодов 01–10 мин. Использованы измерения, выполненные на ГНСС-станции TONG, расположенной в непосредственной близости от вулкана. Установлено, что первые короткопериодные возмущения в ионосфере начали регистрироваться в 04:10 UT (рис. 2.2.3.5.1). Источником наблюдаемых возмущений ПЭС являются вызванные извержением внутренние атмосферные волны, которым требуется 8–10 мин, чтобы достичь высоты ионосферы (около 300 км). Учитывая это, сделан вывод, что извержение началось в 04:00–04:02 UT. Полученное значение совпадает с первыми сообщениями Геологической службы Королевства Тонго (Tonga Geological Services, TGS) и Глобальной программы по вулканизму (Global Volcanism Program, GVP; https://volcano.si.edu/).



Рис. 2.2.3.5.1. Возмущения вертикального ПЭС в диапазоне периодов 01–10 мин, вызванные извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г. «Первые вступления» отмечены красными точками

Публикация:

Перевалова Н.П., Добрынина А.А., Шестаков Н.В., Болсуновский М.А., Саньков В.А., Золотухина Н.А. Эффекты извержения вулкана Хунга-Тонга в литосфере и атмосфере Земли // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: тезисы докладов XIV Российско-Монгольской международной конференции. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2023. С. 55–56.

2.2.3.6. Ретроспективный анализ многолетних региональных особенностей динамического режима ионосферы над югом Восточной Сибири

Грант РНФ № 22-17-00146 «Экспериментальное и теоретическое исследование взаимодействия нейтральной и ионизованной компонент атмосферы Земли», руководитель — акад. Г.А. Жеребцов. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская, к.ф.-м.н. Д.С. Хабитуев

Выполнена систематизация и форматирование разрозненных данных многолетних (1958–1982 гг.) измерений горизонтальных ионосферных дрейфов на высотах Е- и F-областей ионосферы, которые проводились в ИСЗФ СО РАН на полигоне Зуй вблизи г. Иркутска. Создан единый архив измерений ионосферного дрейфа, доступный для общего использования.

Впервые выполнен статистический анализ полного массива данных (29585 измерений). Анализировались отдельно нижняя (высоты до 100-160 км; 11031 измерений) и верхняя (высоты 200-320 км; 18554 измерений) ионосфера. Получены многолетние средние характеристики горизонтальных ионосферных дрейфов, их повторяемость и изменчивость. Показано, что движение в зональном направлении более регулярно, чем меридиональный дрейф (рис. 2.2.3.6.1). С ростом высоты скорость горизонтального дрейфа возрастает. Скорости дрейфа проявляют четко выраженные сезонные вариации на всех анализируемых высотах. Подтверждены отмечавшиеся ранее явные различия в характере динамического режима нижней и верхней ионосферы. Для нижней ионосферы характерны сезонные вариации и высокая изменчивость горизонтальной скорости движений, особенно зимой и в периоды равноденствия, по-видимому связанная с сезонными перестройками атмосферной циркуляции нейтрального газа на этих высотах. Зимой преобладает движение на юго-запад, летом — на северо-восток. В верхней ионосфере динамический режим более регулярен. Наблюдается преобладающее направление движения на юго-запад для всех сезонов. Зимой и в периоды равноденствия изменчивость скоростей горизонтального дрейфа возрастает по сравнению с летним сезоном.



Рис. 2.2.3.6.1. Высотно-временные распределения скорости горизонтального дрейфа: *а* — зональной (положительна на восток); *б* — меридиональной (положительна на север)

Публикация:

Khabituev D.S., Chernigovskaya M.A. Retrospective analysis of long-term regional features of the dynamic regime of the ionosphere over the south of Eastern Siberia // Solar-Terrestrial Physics. 2023. Vol. 9, iss. 3. P. 77–85. DOI: 10.12737/stp-93202309.

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. Влияние магнитного поля и конфигурации среднего течения на пространственную структуру и скорость роста нормальных мод

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. В.И. Мордвинов, к.ф.-м.н. Е.В. Девятова, к.ф.-м.н. Томозов В.М.

Выполнены численные эксперименты с магнитогидродинамической моделью «мелкой воды» для оценки степени влияния магнитного поля на развитие неустойчивостей, обусловленных комбинацией неоднородностей среднего потока и среднего магнитного поля. Объектом анализа была область тахоклина — промежуточного слоя между зоной лучистого равновесия и конвективной оболочкой Солнца.

Система уравнений, описывающих динамику поля скорости и магнитного поля, имела вид

$$\frac{\partial (L\psi)}{\partial t} = -\frac{1}{R^2} \Big[J(\psi, \Delta \psi) - J(\chi, \Delta \chi) \Big] - \frac{2\Omega}{R^2} \frac{\partial \psi}{\partial \lambda} - r \Delta \psi - K \Delta^3 (\Delta \psi) - G(\overline{\psi}),$$

$$\frac{\partial \Delta \chi}{\partial t} = -\frac{1}{R^2} \Big\{ J(\psi, \Delta \chi) - J(\chi, \Delta \psi) \Big\} - r_m \Delta \chi - K_m \Delta^3 (\Delta \chi),$$

где

 $J(f,g) \equiv \frac{\partial f}{\partial \lambda} \frac{\partial g}{\partial \mu} - \frac{\partial f}{\partial \mu} \frac{\partial g}{\partial \lambda} \quad - \text{ оператор Якоби; } L\psi \equiv \left(\Delta - L_{\rm D}^{-2}\right)\psi; R \quad - \text{ радиус Солнца; } \psi \quad - \mu$

функция тока; $l = 2\Omega\mu$ — параметр Кориолиса; Ω — угловая скорость вращения Солнца, $L_{\rm D} \equiv \sqrt{gh_0} / l \approx \sqrt{gh_0} / 2\Omega \sin 45^\circ$ — радиус деформации Россби — Обухова; h_0 — средняя толщина однородного слоя жидкости; λ — долгота; $\mu = \cos \theta$, θ — полярный угол; $r = 1/T_0$ коэффициент рэлеевского трения; K — коэффициент турбулентной гипервязкости; χ магнитная функция тока, связанная с вектором горизонтального магнитного поля **H** соотношением

$$\mathbf{H} = \mathbf{k} \times \nabla \boldsymbol{\chi} = \left(-\mathbf{i} \frac{\partial \boldsymbol{\chi}}{\partial y}, \, \mathbf{j} \frac{\partial \boldsymbol{\chi}}{\partial x}, \, 0\right).$$

После линеаризации уравнений и задания возмущений в виде нормальных мод получаем матричное уравнение $Dx = \sigma' x$, в котором собственные числа σ' определяют частоты (комплексные) нормальных мод, а собственные векторы x — пространственную структуру нормальных мод.

Матрица

$$D = \begin{pmatrix} A_{\gamma\gamma'} & B_{\gamma\gamma'} \\ A_{\gamma\gamma'}' & B_{\gamma\gamma'}' \end{pmatrix}$$

имеет блочную структуру, в которой коэффициенты зависят от среднего поля скорости и среднего магнитного поля, турбулентной вязкости. Меняя величину магнитного поля и рассчитывая σ' , можно оценить степень влияния магнитного поля на скорость роста неустойчивости потока жидкости с вмороженным магнитным полем. Расчеты нормальных мод подтвердили полученный нами ранее при численном моделировании результат о различном влиянии слабого и сильного магнитного поля на неустойчивость дифференциального вращения. Расчеты показали, что слабое магнитное поле стабилизирует развитие неустойчивостей, сильное магнитное поле, наоборот, усиливает неустойчивость. Азимутальные неоднородности дифференциального вращения во всех случаях способствовали развитию неустойчивостей. В таблице приведены характерные времена роста возмущений дифференциального вращения с параметрами a=0.5, f=0.8 при различных величинах магнитного поля и разном количестве сферических гармоник в разложении возмущений функций тока.

Таблица 2.2.4.1.1. Характерные времена роста возмущений дифференциального вращения при различных амплитудах аномалий дифференциального вращения и величины магнитного поля при числе гармоник N = 13 (верхнее значение) и N = 15 (нижнее значение)

	$\alpha_1 = 0.0$	$\alpha_1 = 0.0035$	$\alpha_1 = 0.035$	$\alpha_1 = 0.35$	α ₁ =3.5	$\alpha_1=35$
<i>k</i> _0.0	<i>T</i> =20.71	<i>T</i> =21.58	<i>T</i> =23.77	<i>T</i> =39.63	<i>T</i> =5.44	<i>T</i> =0.59
κ-0.0	<i>T</i> =20.94	<i>T</i> =21.85	<i>T</i> =26.34	<i>T</i> =23.56	<i>T</i> =2.99	<i>T</i> =0.33
<i>k</i> =0.001	<i>T</i> =19.99	<i>T</i> =20.77	<i>T</i> =23.96	<i>T</i> =30.08	<i>T</i> =2.34	<i>T</i> =0.23
	<i>T</i> =20.20	<i>T</i> =21.06	<i>T</i> =25.98	<i>T</i> =21.89	<i>T</i> =1.66	<i>T</i> =0.15
<i>k</i> =0.005	<i>T</i> =9.04	<i>T</i> =9.09	<i>T</i> =9.60	<i>T</i> =6.46	<i>T</i> =0.49	T=0.04
	<i>T</i> =5.98	<i>T</i> =6.02	<i>T</i> =6.40	<i>T</i> =5.79	<i>T</i> =0.38	<i>T</i> =0.03
<i>k</i> =0.01	<i>T</i> =4.41	<i>T</i> =4.43	<i>T</i> =4.59	<i>T</i> =2.84	<i>T</i> =0.25	<i>T</i> =0.02
	<i>T</i> =1.77	<i>T</i> =1.78	<i>T</i> =1.99	<i>T</i> =2.94	<i>T</i> =0.19	T=0.01



Рис. 2.2.4.1.1. Пространственная структура нормальных мод, имеющих наибольшие инкременты, в цилиндрической (*a*) и стереографической (*б*) проекциях, спектры нормальных мод (*в*) и конфигурация среднего потока (*г*) при разных параметрах антициклона

Во второй части работы рассматривалась пространственная структура неустойчивых нормальных мод, делалась попытка интерпретации крутильных колебаний, наблюдаемых в атмосферах Земли и Солнца. На рис. 2.2.4.1.1 приведен пример расчета наиболее неустойчивых нормальных мод при задании в качестве среднего потока суперпозиции полярного вихря над полюсом и антициклона с переменной амплитудой в средних широтах.

Расчеты показали, что форму крутильных колебаний имеет наименее затухающая нормальная мода устойчивого полярного циклона. Аномалии течения, усиление в зимний период антициклонического вихря в умеренных широтах разрушают крутильные колебания и приводят к быстрому росту нормальных мод, имеющих в своем спектре сферические гармоники с более высокими степенями и зональными волновыми числами.

Публикация:

Мордвинов В.И., Девятова Е.В., Томозов В.М. Влияние магнитного поля и конфигурации среднего течения на пространственную структуру и скорость роста нормальных мод // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 134–144. DOI: 10.12737/szf-94202315.

2.2.4.2. Исследование всплесков широкополосных пульсаций РіВ и вариаций интенсивностей эмиссий 557.7 и 630.0 нм в периоды суббуревых активизаций в ходе сильных магнитосферных бурь

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — д.ф.-м.н. В.В. Мишин, к.ф.-м.н. Ю.Ю. Клибанова, Р.А. Марчук, д.ф.-м.н. А.В. Михалёв, к.ф.-м.н. Ю.В. Пенских Геомагнитные и оптические данные среднеширотных обсерваторий ИСЗФ были использованы для исследования вариации геомагнитного поля и интенсивности свечения во время суббуревых активизаций. Показано, что резкие усиления широкополосных пульсаций (PiB) и свечения ночного неба в красной и зеленой линиях наблюдались во время каждого начала серии пилообразных суббуревых событий (STE) в ходе двух бурь (рис. 2.2.4.2.1).



Рис. 2.2.4.2.1. Буря 6.11.2000. Вариации давления СВ P_d и интенсивностей излучения в линиях кислорода 557.7 и 630 нм (*a*) и потока электронов на LANL (*b*), а также динамические спектры геомагнитных пульсаций (*c*). Зависимость изменений амплитуды (цветовая шкала справа, в относительных единицах) от периода (ордината), всемирного времени и местного магнитного времени (абсцисса)

При этом южная граница зоны продольных токов (ПТ) приближалась к широте Иркутска, но иногда оставалась севернее на 10°. Такое «дальнодействие» может быть связано как с импульсами давления солнечного ветра, так и сильными изменениями электрических токов во время пилоообразных суббурь. Обсуждается возможность периодической активизации суббурь во время STE как следствие раскачки глобальной неустойчивости хвоста магнитосферы и ночного альфвеновского резонатора. Предложен метод таймирования начала взрывной фазы по всплеску мощности пульсаций Pi1B (рис. 2.2.4.2.2).



Рис. 2.2.4.2.2. Определение начала взрывной фазы суббури по началу быстрого роста медианного значения мощности вейвлет-спектра пульсаций: верхняя панель — медианное значение мощности спектра P_{med} ; нижняя панель — спектр пульсаций в момент роста AE-индекса; красная линия — максимум медианной мощности спектра; зеленая линия — ближайшее начало роста медианной мощности спектра пульсаций

Публикация:

Mishin V.V., Klibanova Yu.Yu., Marchuk R.A., Mikhalev A.V., Penskikh Y.V. Midlatitude bursts of PiB geomagnetic pulsations and night airglow during stormtime sawtooth event // Adv. Space Res. 2023. DOI: 10.1016/j.asr.2023.06.032.

2.2.4.3. Климатология слоя свечения 557.7 нм над Восточной Сибирью

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — А.В. Саункин, к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, М.Ф. Артамонов, д.ф.-м.н. А.В. Михалёв

Были рассмотрены долговременные средние значения интенсивности свечения атомарного кислорода на длине волны 557.7 нм и температуры воздуха вблизи мезопаузы над южными районами Восточной Сибири. Данные о температуре и параметрах излучения над Геофизической обсерваторией Торы (52° N, 103° E) были получены с помощью радиометра SABER, интерферометра Фабри — Перо KEO Scientific «Arinae» (ИФП), спектрометра SATI и модели NRLMSIS. Годовые вариации интенсивности излучения 557.7 нм и температуры, полученные при наблюдениях, отличаются от модельных приближений. Наблюдаемое поведение температуры над Восточной Сибирью различается в зимний и весенний сезоны (рис. 2.2.4.3.1).



Рис. 2.2.4.3.1. Среднемесячные эффективные температуры и отклонения с 2017 по 2021 г. по данным SABER (красный), ИФП (зеленый) и модели NRLMSIS (синий)



Рис. 2.2.4.3.2. Среднемесячные значения I_{557.7} с 2017 по 2021 г. по данным SABER (красный), ИФП (зеленый), модели NRLMSIS (синий) и SATI (фиолетовый) и их отклонения

Можно предположить, что такое поведение температуры обусловлено влиянием процессов, развивающихся в нижележащих слоях атмосферы. Зима характеризуется высокой повторяемостью внезапных стратосферных потеплений, которые происходят и быстро развиваются над Сибирью. Эти процессы могут вызвать значительные колебания средних ночных температур и связанное с этим замедление снижения среднемесячной температуры. Летние и осенние расхождения наблюдаемой температуры могут быть косвенно вызваны различиями в поведении интенсивности (рис. 2.2.4.3.2) в этот временной интервал для спутниковых и наземных приборов, поскольку эффективная температура рассчитывается по высотному профилю эмиссии 557.7 нм.

Следует отметить, что температура по модельным данным для этого временного интервала хорошо соответствует результатам спутниковых наблюдений.

В целом годовые вариации эмиссии 557.7 нм и температуры мезопаузы над югом Восточной Сибири подобны известному поведению этих параметров в средних широтах. Вариации эмиссии 557.7 нм по инструментальным данным отличаются от полученных по модели NRLMSIS, что наиболее заметно в апреле. Вероятно, это связано с широтной особенностью возникновения атмосферной эмиссии 557.7 нм или с изменениями климата Земли, которые не учитываются в модели NRLMSIS. Кроме того, минимум интенсивности эмиссии 557.7 нм совпадает с максимумом температуры и максимальной высотой пика интенсивности (рис. 2.2.4.3.3) в течение года.



Рис. 2.2.4.3.3. Среднемесячная высота максимальной концентрации атомарного кислорода и средние статистические отклонения с 2017 по 2021 г. по данным SABER (красный) и NRLMSIS (синий)

Подъем слоя свечения воздуха означает, что он перемещается в нижнюю термосферу, где температура выше. В этих условиях скорость реакции тройного столкновения замедлится, вызывая уменьшение интенсивности свечения воздуха, однако эффективная температура будет расти, что, очевидно, приводит к более медленным темпам сезонного понижения температуры по данным ИФП.

Публикации:

Vasilyev R., Saunkin A., Zorkaltseva O., Artamonov M, Mikhalev A. Climatology of 557.7 nm emission layer parameters over South-East Siberia. Observations and Model Data // Appl. Sci. 2023. Vol. 13, no. 8, 5157. DOI: 10.3390/app13085157.

Saunkin A.V., Vasilyev R.V., Zorkaltseva O.S., Artamonov M.F., Mikhalev A.V. Climatology of atmospheric parameters in mesosphere — lower thermosphere region of the Southern of Eastern Siberia. // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 127807E. DOI: 10.1117/12.2690774.

2.2.4.4. Долговременная изменчивость параметров внезапных стратосферных потеплений по данным реанализа ERA5

Проект РНФ № 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. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева¹, к.ф.-м.н. О.Ю. Антохина², к.ф.-м.н. П.Н. Антохин².

¹ — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; ² — ИОА СО РАН, Томск, Россия

Предпринята попытка оценки долговременной изменчивости параметров внезапных стратосферных потеплений (ВСП) с 1979 по 2021 г. В качестве критерия для оценки ВСП были использованы значения среднезональной температуры воздуха на широте 80° с.ш. и среднезональной скорости ветра на 60° N на высотах 10 гПа. Мажорные ВСП были классифицированы по типам — с разделением полярного вихря (ПВ) и со смещением ПВ. Были проведены оценки изменчивости таких параметров ВСП, как количество случаев за зиму, тип ВСП, продолжительность ВСП, дата начала и максимальная температура во время ВСП за последние 42 года (рис. 2.2.4.4.1–2.2.4.4.3).



Рис. 2.2.4.4.1. Долговременные изменения количества мажорных (синий) и минорных (зеленый) ВСП и максимальной температуры во время ВСП (красный). По оси Х отмечены зимние периоды с ноября каждого года (т. е. «1979» — зимний период с ноября 1979 г. по март 1980 г. и т. д.)

Анализ долговременной изменчивости перечисленных параметров показал, что, несмотря на изменения фоновых условий в стратосфере, параметры ВСП не имеют значимых тенденций изменений. Это может быть обусловлено слишком высокой степенью изменчивости ВСП, не позволяющей линейной аппроксимацией обнаружить значимые изменения. Поэтому в дальнейшем мы будем расширять пути и подходы к анализу экстремумов. На основе полученных результатов, а также предыдущих исследований было установлено, что 90-е гг. являются периодом «затишья» как для циркуляции стратосферы, так и, по-видимому, для тропосферно-стратосферных взаимодействий. С начала 2000-х гг. увеличилась амплитуда колебаний стратосферных параметров, что в целом согласуется с тропосферными процессами в этот период.



Рис. 2.2.4.4.2. Долговременные изменения дат начала (черные точки) и продолжительности (синие точки) мажорных ВСП

Обнаружены случаи расщепления полярного вихря во время минорных потеплений. Расщепление полярного вихря приводит к быстрой реакции тропосферной циркуляции (несколько дней) на ВСП, тогда как при его смещении время реакции тропосферы на ВСП может увеличиваться до 1–2 недель. Большинство исследователей выделяют типы деформации ПВ только в периоды мажорных ВСП, что может приводить к недооценке стратосферного влияния в периоды минорных ВСП.



Рис. 2.2.4.4.3. Вариации среднезональной температуры вдоль 80 с.ш. на высоте 10 гПа

Следует отметить, что нами были обнаружены случаи расщепления полярного вихря во время минорных ВСП. ВСП с расщеплением ПВ приводят к быстрой реакции тропосферной циркуляции (несколько дней), тогда как в периоды ВСП со смещением ПВ время реакции тропосферы на потепление может увеличиваться до 1–2 недель. Большинство исследователей выделяют типы деформации ПВ только в периоды мажорных ВСП, что может приводить к недооценке стратосферного влияния в периоды минорных ВСП.

Публикации:

Зоркальцева О.С., Антохина О.Ю., Антохин П.Н. Долговременная изменчивость параметров внезапных стратосферных потеплений по данным реанализа ERA5 // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т. 36, № 03. С. 200–208. DOI: 10.15372/АОО20230306.

Zorkaltseva O.S., Antokhina O.Yu., Antokhin P.N. Long-term variations in parameters of sudden stratospheric warmings according to ERA5 reanalysis data // Atmos. and Ocean. Optics. 2023. Vol. 36, no. 4. P. 370–378. DOI: 10.1134/S102485602304020.

2.2.4.5. Отклик температуры воздуха на повторяемость блокирования в Атлантико-Евроазиатском секторе в осенне-зимний период

Проект РНФ № 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. Авторы результата — к.ф.-м.н. О.Ю. Антохина¹, к.ф.-м.н. П.Н. Антохин¹, к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева², к.ф.-м.н. А.В. Гочаков³, к.ф.-м.н. Ю.В. Мартынова³, к.ф.-м.н. В.И. Мордвинов²

 1 — ИОА СО РАН, Томск, Россия; 2 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 3 — ИВ-МиМГ, Новосибирск, Россия

Задача работы состояла в оценке крупномасштабных процессов в тропосфере. Для решения поставленной задачи был разработан метод оценки атмосферных блокирований. Были использованы данные архива реанализа ERA5: высота геопотенциала 500 гПа и температура воздуха на уровне 1000 и 10 гПа. В рамках работы была подготовлена база данных индексов мгновенных блокирований (ИМБ) над десятью регионами, расположенными в долготных секторах в восточном направлении от запада Северной Атлантики до восточных границ Сибири и Тихого океана. В качестве основной характеристики использованы «паттерны блокирования» — пространственные распределения коэффициентов корреляции между ИБМ и полем приземной температуры. Был использован индекс *GHGS* (Geopotential Height Gradient South):

$$GHGS = \left(Z(\varphi_0) - Z(\varphi_s)\right) / \left(\varphi_0 - \varphi_s\right),$$

где Z — высота геопотенциальной поверхности 500 гПа; $\phi_0=60^\circ$ N ± Δ ; $\phi_s=40^\circ$ N ± Δ (λ 50) и $\phi_0=70^\circ$ N ± Δ ; $\phi_s=50^\circ$ N ± Δ (λ 60), $\Delta=-5^\circ$, -2.5° , 0° , 2.5° и 5°. В работе анализировались мгновенные блокинги (instantaneous blocking), нас интересовали все ситуации, когда критерий *GHGS* удовлетворял условию инверсии градиента геопотенциала *GHGS* > 0.

Был выделен долготный интервал от 80° W до 80° E, в котором, согласно среднеклиматическим распределениям, находится Атлантико-Европейский максимум повторяемости блокирования в Северном полушарии (СП) в зимний период. Блокирования в этом секторе тесно связаны с продолжительными холодными эпизодами над Евразией, а также с событиями ВСП. Индексы *IBF50* и *IBF60*, рассчитанные в долготных секторах по 20° , приведены в табл. 2.2.4.5.1.

Номер сектора	Диапазон долгот	Название (обозначение) охватывающего			
		региона			
1	80°–60° W				
2	60°–40° W	Северная Атлантика (СА)			
3	40°–20° W				
4	20°–0° W				
5	0°–20° E	Eprovo (E)			
6	20°–40° E	EBpolla (E)			
7	40°-60° E	Урал (У)			
8	60°-80° E				
		Западная Сибирь (ЗС)			
9	80°–100° E				
		BOCTOHHAR CHOURL (BC)			
10	100°–120° E	Dooro max enoups (DC)			

Таблица 2.2.4.5.1. Выделенные сектора и охватывающие их регионы

К анализу добавлены также секторы Восточной Сибири. Схема с основными элементами для расчета представлена в электронном виде [https://doi.org/10.5281/zenodo.7489503]. Распределения значимых на уровне 0.95 коэффициентов обозначены как корреляционные паттерны (КП, паттерны, паттерн южного (*IBF50*) и северного режимов (*IBF60*)). Все рассчитанные паттерны доступны по ссылке: [https://doi.org/10.5281/zenodo.7754599]. КП позволяют выявить регионы максимальной чувствительности температуры воздуха к блокирующим процессам, а сравнение КП для двух периодов позволяет оценить основные закономерности изменений.

Для анализа рассчитано суммарное количество значимых коэффициентов корреляции для паттернов, полученная величина обозначена как мощность корреляционного паттерна (МКП). Рассчитаны также коэффициенты корреляции непосредственно между рядами *IBF50* и *IBF60* для каждого из 10 секторов (графики отображены на рис. 1 вместе с графиками МКП) и между различными секторами отдельно для северного и южного режима (результаты доступны по ссылке https://doi.org/10.5281/zenodo.7754569). Коэффици-

ент корреляции рядов *IBF50* и *IBF60* показывает, насколько связаны два предполагаемых режима (северный и южный), а коэффициенты связи для секторов (отдельно для северного и южного режима) отражают степень связанности изменений в разных регионах.

Качественно оценены также корреляционные паттерны блокирования и температуры в средней стратосфере (10 гПа). Данные доступны по ссылке: https://disk.yandex.com/ d/k5hi2FPnjOCE0A.

Публикации:

Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Зоркальцева О.С., Мартынова Ю.В., Гочаков А.В., Мордвинов В.И. Отклик температуры воздуха на повторяемость блокирования в Атлантико-Европейском секторе в осенне-зимний период // Метеорология и гидрология. 2023. № 11. С. 5–19. DOI: 10.52002/0130-2906-2023-11-5-19.

Zorkaltseva O.S., Antokhina O. Yu., Antokhin P.N., Martynova Y.V. Relationship between tropospheric blocking events and stratospheric temperature in winter // Atmosphere, Ionosphere, Safety: Proc. VIII International Conference. Издательство ООО «АЛГОМАТ», 2023. С. 135–138. URL: aisconf.ru:1818/large_books_tmp/AIS%20Proceedings%202023.pdf.

2.2.4.6. Особенности вариаций аэрозольной оптической толщи в Байкальском регионе по данным экспедиционных измерений в 2018–2022 гг.

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. М.А. Тащилин¹, И.П. Яковлева¹, Г.В. Обытоцкий².

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

Рассматриваются особенности спектральных характеристик аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в условиях дымов лесных пожаров по отношению к фоновым условиям в Байкальском регионе по результатам экспедиционных измерений в 2018–2022 гг. с помощью портативного фотометра SPM, разработанного в Институте оптики атмосферы СО РАН. Для двух типов условий (фоновые и условия дымов лесных пожаров) приводятся оптические характеристики АОТ, мелко- и грубодисперсной компонент АОТ, параметры Ангстрема, восстановленные параметры микроструктуры аэрозоля. На основе экспедиционных измерений спектральных АОТ в Байкальском регионе в 2018–2022 гг. рассмотрены оптические особенности и параметры микроструктуры аэрозоля как в фоновых условиях, так и во время дымов лесных пожаров. Сопоставление данных фотометров SPM и CE-318 в ГО ИСЗФ СО РАН (табл. 2.2.4.6.1) показало хорошее согласие для спектральных АОТ (средний коэффициент корреляции 0.97, среднее среднеквадратичное отклонение 0.08) и грубодисперсной компоненты АОТ (коэффициент корреляции 0.96, среднеквадратичное отклонение 0.008).

		Тор	оы		Сарма			Бабушкин
	17-18.07.19	03.08.19	23.06.22	01-07.08.22	23-24.07.18	06-07.08.19	24-25.07.20	04.07.20
τ <mark>a</mark> 0.34	0.483 / 0.555	0.391 / 0.394	2.162 / 2.232	2.37 / 2.598	0.79 / 0.674	1.042 / 1.143	0.274 / 0.271	0.351 / 0.351
τ <mark>a</mark> 0.37	0.446 / 0.499	0.37 / 0.371	0.309 / 0.315	0.313 / 0.288	0.771 / 0.647	1.012 / 1.106	0.24 / 0.236	0.313 / 0.32
$\tau_{0.4}^{a}$	0.418 / 0.46	0.351 / 0.352	0.288 / 0.292	0.272 / 0.271	0.729 / 0.611	0.977 / 1.07	0.206 / 0.204	0.267 / 0.279
τ <mark>a</mark> 0.44	0.389 / 0.421	0.332 / 0.333	0.225 / 0.226	0.198 / 0.194	0.687 / 0.569	0.941 / 1.034	0.185 / 0.183	0.231 / 0.242
$\tau_{0.5}^{a}$	0.342 / 0.356	0.299 / 0.296	0.181 / 0.182	0.157 / 0.152	0.604 / 0.497	0.86 / 0.959	0.155 / 0.154	0.183 / 0.19
$\tau_{0.55}^{a}$	0.307 / 0.31	0.276 / 0.268	0.145 / 0.144	0.128 / 0.12	0.532 / 0.436	0.796 / 0.896	0.136 / 0.135	0.156 / 0.162

Таблица 2.2.4.6.1. Средние/модальные значения характеристик АОТ

τ <mark>a</mark> 0.67	0.239 / 0.234	0.226 / 0.212	0.095 / 0.091	0.087 / 0.081	0.412 / 0.341	0.66 / 0.762	0.108 / 0.108	0.114 / 0.118
τ <mark>a</mark> 0.77	0.207 / 0.195	0.199 / 0.184	0.051 / 0.044	0.051 / 0.046	0.33 / 0.271	0.591 / 0.693	0.093 / 0.092	0.089 / 0.092
τ <mark>a</mark> 0.87	0.175 / 0.18	0.171 / 0.155	0.034 / 0.028	0.035 / 0.029	0.265 / 0.221	0.522 / 0.622	0.082 / 0.082	0.072 / 0.074
$\tau_{1.04}^{a}$	0.148 / 0.144	0.143 / 0.124	0.026 / 0.018	0.024 / 0.019	0.189 / 0.151	0.464 / 0.556	0.07 / 0.072	0.053 / 0.052
W	2.722 / 2.789	2.327 / 2.346	0.021 / 0.012	0.016 / 0.013	1.992 / 2.074	1.306 / 1.389	2.392 / 2.371	1.986 / 2.172
τε	0.089 / 0.041	0.07 / 0.042	0.021 / 0.012	0.016 / 0.013	0.08 / 0.068	0.328 / 0.396	0.054 / 0.054	0.031 / 0.029
τ ^f 0.5	0.253 / 0.322	0.229 / 0.224	0.16 / 0.163	0.141 / 0.142	0.524 / 0.433	0.532 / 0.529	0.101 / 0.104	0.153 / 0.161
α	1.166 / 1.445	1.0 / 1.125	2.245 / 2.405	2.055 / 2.095	1.396 / 1.402	0.995 / 0.818	1.236 / 1.197	1.674 / 1.674
β	0.152 / 0.156	0.152 / 0.134	0.039 / 0.032	0.039 / 0.034	0.228 / 0.187	0.469 / 0.561	0.069 / 0.069	0.058 / 0.059

Сравнительный анализ полученных результатов (рис. 2.2.4.6.1) показал, что аэрозольное замутнение во время дымов лесных пожаров обусловлено ростом концентрации мелкодисперсного аэрозоля. При умеренных пирогенных событиях средние значения АОТ в коротковолновой области спектра превышают фоновые в три раза, тогда как в условиях экстремальных дымовых ситуаций значения АОТ превышали фоновые в восемь раз, причем в большей части спектра. Для фоновых условий наблюдаются характерные гиперболические спектральные зависимости, как и для умеренных замутнений, тогда как при экстремальных пирогенных событиях зависимость становится ближе к линейной. Объемные факторы заполнения для субмикронного аэрозоля при умеренных лесных пожарах увеличиваются в среднем в три раза, для грубодисперсного — в 1.5 раза, тогда как во время экстремальных событий увеличение объемного фактора субмикронного аэрозоля достигает пяти раз, а объемный фактор грубодисперсного аэрозоля может увеличиться на порядок.



Рис. 2.2.4.6.1. Средние спектральные зависимости 🖏 в трех пунктах наблюдения

Показатель селективности Ангстрема уменьшается в 1.5 раза (табл. 2.2.4.6.2), что свидетельствует о том, что во время экстремальных пирогенных событий, помимо роста концентрации мелкодисперсного аэрозоля, наблюдается увеличение размера аэрозольных частиц.

Пункт наблюдения, дата	V	V_1	V_2	< <i>r</i> >, мкм	$< r_{1>,}$ MKM	< <i>r</i> _{2>,} мкм
Сарма, 23–24.07.18	0.234	0.226	0.008	0.29	0.28	0.97
Сарма, 06–07.08.19	0.307	0.244	0.063	0.37	0.28	1.35
Сарма, 24–25.07.20	0.071	0.062	0.009	0.28	0.24	1.09
Торы, 17–18.07.19	0.137	0.12	0.017	0.31	0.26	1.3
Торы, 03.08.19	0.114	0.099	0.015	0.33	0.28	1.17
Торы, 23.06.22	0.064	0.056	0.008	0.34	0.22	1.15
Торы, 01–07.08.22	0.045	0.032	0.02	0.32	0.22	1.14
Бабушкин, 04.07.20	0.092	0.087	0.005	0.25	0.24	1.05

Таблица 2.2.4.6.2. Средние значения параметров микроструктуры аэрозоля

Публикация:

Taschilin M., Yakovleva I., Obytotsky G. Features of aerosol optical depth variations over the Baikal region according to the expedition measurements data from 2018 to 2022 // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 127802V. DOI: 10.1117/12.2690402.

2.2.4.7. Оценка эффективности пространственного инфраакустического фильтра

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 — В.А. Добрынин.

Уточнены оценки эффективности пространственного инфраакустического фильтра (ПИАФ) розеточного типа, который был установлен и подключен к одному из инфразвуковых датчиков в ноябре 2021 г. Использовались полученные в июле–сентябре 2022 г. записи с микробарометров, расположенных в 150 метрах друг от друга, к одному прибору был подключен фильтр, на другом стояла имитация фильтра. Были построены усредненные спектральные плотности мощности шума (рис. 2.2.4.7.1) для ряда отрезков времени с преобладанием определенных скоростей ветра.



Puc. 2.2.4.7.1. Спектральные плотности мощности для интервалов длительностью 8 мин; для разделения инфразвуковых данных по группам с преобладанием определенных скоростей ветра использовались показания метеостанции WS-2300 с анемометром

Таблица 2.2.4.7.1 показывает, что в условиях слабого ветра (0...2 м/с) кривая плотности шума датчика с фильтром на 7 дБ по мощности ниже, чем кривая плотности датчика с имитацией фильтра. Чем выше частота сигнала, тем сильнее проявляется эффект: для герцовых сигналов отношение сигнал/шум будет выше уже на 14 дБ (разница в 25 раз по мощности, в 5 раз по амплитуде), что близко к тому значению, которое дает формула [Горелик, 1959] для фильтра с числом входов N = 32:

$$A_{\text{сигн}}/A_{\text{шум}} = Na/(\sqrt{N}a) = \sqrt{N},$$

где $A_{\text{сигн}}$ — сумма N колебаний с одинаковыми фазами, $A_{\text{шум}}$ — сумма N колебаний со случайными фазами, a — амплитуда одного колебания.

Таблица 2.2.4.7.1. Ослабление шума на известных калибровочных частотах при применении фильтра

Скорость			Пер		Частота				
ветра	<i>T</i> =115 c	<i>T</i> =76 c	<i>T</i> =62 c	<i>T</i> =20 c	<i>T</i> =11 c	<i>T</i> =8 c	<i>f</i> =0.25 Гц	<i>f</i> =0.5 Гц	<i>f</i> =0.9 Гц
<i>v</i> =0-2 м/с	+2.2 дБ	-1.2 дБ	-2.8 дБ	-6.9 дБ	-9.0 дБ	-8.7 дБ	-10.2 дБ	-7.4 дБ	-14.0 дБ
<i>v</i> =2-4 м/с	-0.9 дБ	-2.8 дБ	-0.8 дБ	-6.6 дБ	-9.8 дБ	-11.5 дБ	-12.8 дБ	-11.8 дБ	-10.1 дБ
<i>v</i> =4-6 м/с	-1.4 дБ	+1.8 дБ	+0.7 дБ	-5.5 дБ	-7.2 дБ	-7.8 дБ	-12.0 дБ	-12.6 дБ	-8.0 дБ

Публикации:

Добрынин В.А. Расчет, применение и оценка пространственно-акустического фильтра розеточного типа // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXIX Международного симпозиума. Томск: Издательство ИОА СО РАН, 2023. С. D410–D413.

Dobrynin V. Technologies and measurement features applied at Eastern Siberia infrasound station // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 127806E. DOI: <u>10.1117/12.2690932</u>.

Литература:

Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику / Под ред. проф. С.М. Рытова. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. 572 с.

2.2.4.8. Атмосферный эффект извержения вулкана Hunga Tonga Haapai

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

В работе описан эффект в атмосфере Восточной Сибири от прихода акустических волн от извержения вулкана Hunga Tonga в Южной части Тихого океана 15 января 2022 г. Показания барометра в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (рис. 2.2.4.8.1) указывают на то, что регистрировались как прямые, так и антиподальные импульсные возмущения атмосферного давления, свидетельствующие о глобальном характере распространения атмосферного возмущения от извержения. Наибольший интерес представляют первый прямой приход и более тонкая временная структура сигнала.



Рис. 2.2.4.8.1. Барограмма, показывающая три прихода волны давления от извержения Тонга в ГФО ИСЗФ СО РАН: 1 и 3 — прямые приходы, 2 — антиподальный

Результаты регистрации акустических волн от извержения вулкана Тонга на юге Восточной Сибири, на расстоянии около 11230 км от источника приведены на рис. 2.2.4.8.2 (справа). Полученный акустический сигнал интерпретируется как совокупность волн Лэмба, внутренних гравитационных волн и инфразвука. По структуре сигнал подобен сигналам от мощных источников, известных ранее: взрыв Тунгусского метеорита в 1908 г., термоядерный взрыв на Новой Земле в 1961 г. Акустический сигнал предваряют низкочастотные затухающие колебания, состоящие из трех цугов. Мы полагаем, такие колебания связаны с тремя стадиями извержения вулкана Hunga Tonga: 1) разрушении острова Тонга и образованием подводной кальдеры; 2) выход горячей магмы из кальдеры на поверхность океана и выброс в атмосферу большого объема перегретого пара; 3) образование слоистой структуры из смеси перегретого пара, пепла и тефры на поверхности океана и образование



Рис. 2.2.4.8.2. Левая панель — акустические волны от извержения вулкана Hunga Tonga в Иркутске (ИСЗФ СО РАН, Восточная Сибирь, 2022 г.). Правая панель — низкочастотный акустический сигнал, зарегистрированный на инфразвуковой станции ИСЗФ СО РАН 15.01.2022 (1, 2, 3 — последовательные волновые цуги). Полная длительность сигнала составляет более 5 ч

эруптивной конвективной колонны. Последовательные стадии извержения могли способствовать возбуждению акустических колебаний в широком диапазоне периодов, включая волны Лэмба, внутренние гравитационные волны (ВГВ) и инфразвук. В работе сравниваются также структуры сигнала, наблюдавшегося в Сибири на расстоянии 11000 км от вулкана, и акустического сигнала, зарегистрированного на Аляске на удалении более 9300 км. Запись аляскинского сигнала была выложена в открытом доступе Геофизическим институтом (Фэрбанкс, США) [Fee, 2022].

Показано, что различие структур сигналов над Восточной Сибирью и над Аляской обусловлено различием структуры поля ветра по трассе распространения. Приводится оценка выхода энергии во время сильного извержения, основанная на решении линеаризованного уравнения Кортевега — де Фриза [Pierce, Pousey, 1971], предположительно, мощность взрыва составила 0.398 мегатонн тринитротолуола.

Публикации:

Добрынин В.А., Сорокин А.Г. Атмосферные эффекты извержения вулкана Тонга // Сборник Трудов XXXV сессии Российского акустического общества. М.: ГЕОС, 2023. С. 489–494. DOI: 10.34756/GEOS.2023.17.38487.

Сорокин А.Г., Добрынин В.А. Атмосферный эффект извержения вулкана Hunga Tonga // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: Тезисы докладов XIV Российско-Монгольской Международной конференции по астрономии и геофизике. Иркутск, 2023. С. 71.

Литература:

Fee D. Did You Hear a Volcano Erupting? [Электронный ресурс] // National Weather Service Alaska Region. 2022. URL: https://twitter.com/NWSAlaska/status/ 1482431322740060162? xt=HHwWhMCrveHb05IpAAAA (Дата обращения 15.02.2022).

Pierce A.D., Pousey J.W. Theory of excitation and propagation of Lamb's atmospheric edge mode from nuclear explosions // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1971. Vol. 26. P. 341–368.

2.2.4.9. Модельные представления параметров атмосферы в контексте наземных наблюдений интерферометром Фабри — Перо

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — М.Ф. Артамонов, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев.

Для сопоставления физических параметров атмосферы Земли (скорость ветра и температура), полученных в результате спектрального анализа естественного свечения верхних слоев атмосферы как наземными и спутниковыми средствами, так с помощью моделирования, требуется выработка единых индексов для сравнения. Наземные средства ведут интегральные наблюдения всего светящегося слоя, получая средние значения параметров для диапазона высот, в котором возникает свечения, а спутниковые средства и модели позволяют получить высотные профили интенсивности. Таким образом, корректно будет сопоставлять временную динамику скорости ветра и температуры, полученную с помощью интерферометра Фабри — Перо, не с конкретными значениями этих параметров, полученными спутниками и моделями на какой-либо высоте, а с интегрированными по высоте профилями физических параметров с весами, равными интенсивности свечения







Рис. 2.2.4.9.1. Сезонно-суточный ход модельных интегральных интенсивности свечения 557.7 нм (слева) и температуры (справа) над южными районами Восточной Сибири

Интенсивность свечения можно получить на основе высотных профилей химического и плазменного состава верхней атмосферы, в зависимости от того, для какой линии естественного свечения будет выполняться анализ. Интегральная интенсивность и средневзвешенная температура, полученные с использованием модели NRLMSIS 2.0. и химической модели свечения 557.7 нм из [McDade et al., 1986; Gao et al., 2012], приведены на рис. 2.2.4.9.1.

Результаты сопоставления (с использованием коэффициента корреляции Пирсона) модельных интегральных характеристик интенсивности, температуры и скорости ветра, полученных на основе эмпирических моделей NRLMSIS 2.0, IRI и HWM14, с данными ИФП приведены в таблице 2.2.4.9.1.

Как видно, корреляция наблюдаемых и модельных параметров для линии 630.0 нм довольно высока, а для линии 557.7 нм устойчивой линейной взаимосвязи нет, что говорит о необходимости уточнения модельных представлений, приведенных выше для диапазона высот 80–100 км. Данная методика использовалась при проведении исследований [Vasilyev et al., 2023; Saunkin et al., 2023].

Таблица 2.2.4.9.1. Корреляция атмосферных параметров по данным ИФП и модели для линий свечения кислорода

_	Корреляция	Корреляция Пирсона для скорости ветра				
Линия	Пирсона для температуры	меридионального	зонального			
557.7 нм	0.11	0.51	0.36			
630.0 нм	0.65	0.42	0.77			

Публикация:

Артамонов М.Ф., Васильев Р.В. Модельные представления параметров атмосферы в контексте наземных наблюдений интерферометром Фабри — Перо // Тезисы Международного симпозиума по атмосферной радиации и динамике (МСАРД-2023). 2023. С. 245–246.

Литература:

Gao H., Nee J.-B., Xu J. The emission of oxygen green line and density of O atom determined by using ISUAL and SABER measurements // Ann. Geophys. 2012. Vol. 30. P. 695–701. DOI: 10.5194/angeo-30-695-2012.

McDade I.C., Murtagh D.P., Greer R.G.H., et al. ETON 2: Quenching parameters for the proposed precursors of O2(b1 Σ g+) and O(1S) in the terrestrial nightglow // Planet. Space Sci. 1986. Vol. 34, iss. 9. P. 789–800. DOI: 10.1016/0032-0633(86)90075-9.

Saunkin A.V., Vasilyev R.V., Zorkaltseva O.S., Artamonov M.F., Mikhalev A.V. Climatology of atmospheric parameters in mesosphere-lower thermosphere region of the Southern of Eastern Siberia. // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 127807E. DOI: 10.1117/12.2690774.

Vasilyev R., Saunkin A., Zorkaltseva O., Artamonov M, Mikhalev A. Climatology of 557.7 nm emission layer parameters over South-East Siberia. Observations and model data // Appl. Sci. 2023. Vol. 13, no. 8, 5157. DOI: 10.3390/app13085157.

2.2.4.10. Численное моделирование свечения атмосферы на длине волны 6300 Å с использованием моделей IRI и MSIS, а также данных Иркутского радара некогерентного рассеяния

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — А.Д. Шелков, М.Ф. Артамонов, к.ф.-м.н. Р.В. Васильев.
Численное моделирование является одним из этапов фотометрической калибровки интерферометров Фабри — Перо КЕО Arinae, расположенных в ГФО ИСЗФ СО РАН. ИФП позволяют определить температуру и циркуляцию нейтральной компоненты верхней атмосферы, что, в комбинации с радиотехническими методами, дает комплексную картину атмосферы в динамике и статике. С помощью оптических приборов возможно также определение концентрации нейтральной компоненты, но для этого нужна калибровка.

Отправной точкой для создания модели свечения атмосферы стала высокая корреляция между измеряемой Иркутским радаром некогерентного рассеяния (ИРНР) электронной концентрацией на высоте 250 км и наблюдаемой интенсивностью свечения на длине волны 6300 Å (рис. 2.2.4.10.1).



Рис. 2.2.4.10.1. Динамика интегральной электронной концентрации на высоте 250±25 км (синяя линия) по данным ИРНР и динамика интенсивности свечения 6300 Å, полученная с помощью нового интерферометра Фабри — Перо НГК (красные точки) и эксплуатирующегося с 2015 г. прототипа (розовые точки)

Свечение красной линии атомарного кислорода на этой длине волны происходит в слое толщиной 50–70 км с максимумом на высоте около 250 км. Возбужденные атомы кислорода O(D) излучают фотоны 6300 Å при переходе в невозбужденное состояние O(P). Увеличение количества возбужденных атомов происходит в основном тремя способами:

• диссоциативная рекомбинация ионизированных молекул кислорода:

$$e + O_2^{+ \rightarrow O(P) + O(D)}$$

• столкновение с тепловыми электронами:

$$e_{t} + O(P) \rightarrow e_{t} + O(D)$$

• столкновение с фотоэлектронами:

$$e_{\rm ph} + O(P) \rightarrow e_{\rm ph} + O(D)$$

Объемная светимость атмосферы на длине волны 6300 Å может быть описана как

$$V_{6300} = \frac{0.76\beta_1 k_1 \left[\mathbf{O}^+ \right] \left[\mathbf{O}_2 \right]}{1 + \left(k_3 \left[\mathbf{N}_2 \right] + k_4 \left[\mathbf{O}_2 \right] + k_5 \left[e \right] \right) / A_{\mathrm{ID}}},$$

где k_1, k_3, k_4, k_5 — коэффициенты частоты реакций в см³ с⁻¹; A_{1D} — коэффициент переноса; β_1 — выход O(D) из реакции диссоциативной рекомбинации [Link, Cogger, 1988]. Значения констант были взяты из [Link, Cogger, 1988; Chen et al., 1978; Streit et al., 1976; Berrington, Burke, 1981; Kernahan, Pang, 1975]. Концентрации компонентов реакций были взяты из данных ИРНР и из моделей IRI и MSIS. Поскольку излучающий слой O(D) толстый (порядка 100 км), брался интеграл по высоте от распределения количества электронов. Распределение электронов полагалось гауссовым с максимумом на высоте 250 км (рис. 2.2.4.10.2, левая панель). Соотношение измеренной интенсивности свечения красной линии кислорода и смоделированной объемной плотности излучения показано на правой панели рис. 2.2.4.10.2. Выявлена высокая корреляция между модельной поверхностной яркостью и измеренной интерферометрами Фабри — Перо интенсивностью свечения (ко-эффициент Пирсона 0.731).



Рис. 2.2.4.10.2. Левая панель — смоделированное распределение по высоте электронов, участвующих в реакции диссоциативной рекомбинации (Р1) (красная кривая), и измеренное ИРНР распределение электронов по высоте (синяя кривая). Правая панель — отношение модельной поверхностной яркости линии 630 нм и измеренной ИФП интенсивности 630 нм

Публикация:

Shelkov A., Vasilyev R., Artamonov M. Research of airglow intensity using data acquired by Irkutsk Scattering Radar and Fabri–Perot interferometers // Physics of Auroral Phenomena. 46th Annual Seminar: Abstracts. 2023. P. 67.

Литература:

Berrington K. A., Burke P.G. Effective collision strengths for forbidden transitions in e-N and e-O scattering // Planet. Space Sci. 1981. Vol. 29. P. 377–381.

Chen A., Johnsen R., Biondi M.A. Measurements of the O+ plus N_2 and O+ plus O_2 reaction rates from 300 to 900 K // J. Chem. Phys. 1978. Vol. 69. P. 2688.

Kernahan J.H., Pang P.H.-L. Experimental determination of absolute A coefficients for 'forbidden' atomic oxygen lines // Can. J. Phys. 1975. Vol. 53. P. 455.

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

Streit G.E., Howard C.J., Schmeltekopf A.L., et al. Temperature dependence of rate constants for reactions with O_2 , N_2 , CO_2 , O_3 , and H_2O // J. Chem. Phys. 1976. Vol. 65. P. 4761–4764.

2.2.4.11. Калибровка прототипа интерферометра Фабри — Перо для Национального гелиогеофизического комплекса

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — А.Д. Шелков, М.Ф. Артамонов. Проведена серия инструментальных измерений отклика интерферометра Фабри — Перо (ИФП) на излучение калибровочного источника КЕО Alcor RC, поставленного в составе оборудования оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса. Калибровочный источник (рис. 2.2.4.11.1) представляет собой галогенную лампу, два барабана с калиброванными отверстиями разного диаметра и матовое стекло. Интенсивность источника регулируется взаимной ориентацией барабанов.



Рис. 2.2.4.11.1. Калибровочный источник низкой интенсивности KEO Alcor RC

Получено около тысячи измерений для разных длин волн и на разных расстояниях источника от ИФП. Проведена предварительная обработка результатов измерений отклика интерферометра на свет от калибровочного источника. На текущем этапе не учитывается вклад отдельных компонентов ИФП в пространственное распределение интенсивности падающего света на матрицу — производится энергетический расчет излучения от источника, попадающего на входное окно интерферометра. Источник считаем ламбертовым он не точечный, яркость распределена однородно по телесному углу (рис. 2.2.4.11.2).



Рис. 2.2.4.11.2. Схема ламбертова источника площадью *S*, вектор — нормаль [Дёмин, Половцев, 2017]

Для расчета количества излучения, попавшего на входное окно ИФП, использовалась формула

$d^2 \Phi_{\rm e} L_{\rm e} d\omega dS$,

где Φ_e — энергетический поток, падающий на входное окно; L_e — энергетическая яркость источника; $d\omega$ — элементарный телесный угол, под которым наблюдается приемник из элементарной площадки dS источника. Для расчета телесного угла использовались формулы из [Zhang et al., 2014]:

$$\begin{split} \omega_{1} &= 2\pi \left(1 - \cos \left[\arctan \left(\frac{R_{r} - r}{l} \right) \right] \right), r = 0; \\ \omega_{2} &= \int_{\arctan \left[\frac{R_{r} - r}{l} \right]}^{\arctan \left[\frac{R_{r} - r}{l} \right]} 2 \left(\pi - \arccos \left[\frac{R_{r}^{2} - \left(r^{2} + l^{2} \mathrm{tg}^{2} \Theta\right)}{2rl \mathrm{tg} \Theta} \right] \right) \sin \Theta d\Theta, r \ge R_{r}; \ \omega_{3} \omega_{1} + \omega_{2}, r < R_{r}. \end{split}$$

Здесь R_r — радиус входного окна приемника; r — расстояние между нормалями источника и приемника, проходящими через их центры; 1 — расстояние между приемником и источником; Θ — направление на источник из центра приемника. Результат расчетов представлен на рис. 2.2.4.11.3. В настоящее время проводятся проверка выбранного метода и расчет коэффициентов фотометрической калибровки интерферометров.

По предварительным оценкам, полученным в приближении модели удаленного ламбертова источника и при условии концентричности и параллельности плоскостей источника и приемника, чувствительность одного пикселя изображения матрицы ИФП (при рассмотрении ИФП как прибора в целом) составила (2...10)×10⁻¹⁸ Дж/пикс/отсчет в среднем (для промежутка между источником и ИФП 2 и 3 м), в зависимости от длины волны (ширины фильтров предполагались равными 1 нм) падающего излучения (табл. 2.2.4.11.1).



Таблица 2.2.4.11.1 Чувствительность одного пикселя изображения матрицы ИФП

Рис. 2.2.4.11.3. Зависимость расчетного потока излучения от источника на длине волны 5893 Å (синяя линия) и экспериментальные результаты (красная линия); влияние инструмента на количество регистрируемого света не учитывалось

Публикация:

Shelkov A., Vasilyev R., Artamonov M. Research of airglow intensity using data acquired by Irkutsk Scattering Radar and Fabri–Perot interferometers // Physics of Auroral Phenomena. 46th Annual Seminar: Abstracts. 2023. P. 67.

Литература:

Дёмин В.В., Половцев И.Г. Фотометрия и ее применения: Учебное пособие. Издательский дом Томского государственного университета, 2017. 334 с.

Zhang J., Chen X., Zhang Ch., et al. Development of a software package for solid-angle calculations using the Monte Carlo method // Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Res. A. 2014. Vol. 736. P. 40–45.

2.2.4.12. Первые визуальные наблюдения SAR-дуги в Иркутске во время события Кэррингтона 1859 г.

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

Выполнен анализ приведенного в исторических хрониках описания полярного сияния, наблюдавшегося в средних широтах в Иркутске 21 августа 1859 г. по старому стилю. С использованием архивных магнитных данных сети наблюдений того времени определено, что наблюдаемое полярное сияние в 1859 г. совпадает с событием Кэррингтона комплексом экстремальных явлений на Солнце и Земле, включающим мощнейшую магнитную бурю за всю историю наблюдений. Само описание полярного сияния соответствует редкому типу среднеширотных сияний — SAR-дуге. Установлено, что SAR-дуга в г. Иркутске наблюдалась на фазе восстановления магнитной супербури. Нижний порог интенсивности SAR-дуги 1859 г., описанной в иркутских летописях, был оценен как ≥ 6–10 кРл. Был сделан вывод, что проекция плазмопаузы на ионосферу 3 сентября 1859 г. (по новому стилю) около 12 UT приходилась на широту г. Иркутска.

Можно допустить, что на текущий момент описание полярного сияния 21 августа 1859 г. в Иркутске является одним из первых предметных описаний SAR-дуги за век до ее открытия как явления Барбье в 1958 г.



Рис. 2.2.4.12.1. Часовые значения *H*-компоненты магнитного поля (отклонения от среднего), измеренные на обсерваториях в Барнауле и Нерчинске с 1 по 5 сентября 1859 г. Красным прямоугольником выделено время наблюдения SAR-дуги в Иркутске

Публикация:

Михалев А.В., Белецкий А.Б. Первые визуальные наблюдения SAR-дуги в Иркутске во время события Кэррингтона 1859? // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 13–17 ноября 2023 г., Москва. Тезисы докладов. 2023. XXI.I.18.

2.2.4.13. Оценка воздействия спрайтов с GHOST на ионосферу по данным ионозонда DPS-4 и грозопеленгационной сети «Верея-МР»

Проект «Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной физике». Руководитель — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев. Авторы результата — к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

Одним из быстрых транзиентных оптических событий, развивающихся в верхней атмосфере во время гроз, является GHOST — Green emissions from excited Oxygen in Sprite Торѕ. GHOST — верхняя часть спрайта (80–90 км) — молниевого разряда в мезосфере, возникающего одновременно с мощным тропосферным молниевым разрядом. Развитие электрических разрядов в мезосфере (50-90 км) сопровождается нагревом среды и изменением концентрации свободных электронов, что, в свою очередь, должно сказываться на условиях распространения коротких радиоволн. Нагрев среды на высотах 60-80 км приводит к тому, что часть свободных электронов «прилипает» к молекулярному кислороду, снижая свою концентрацию. Этот процесс должен приводить к увеличению амплитуды отраженных от высоких слоев ионосферы (200-500 км) коротких радиоволн в диапазоне от 2-3 МГц и выше, поскольку поглощение таких радиоволн в разогретой области мезосферы, обедненной свободными электронами, снижается вследствие уменьшения числа соударений электронов с нейтралами. Длительность периода восстановления концентрации до исходного уровня при этом может изменяться от единиц до сотен секунд, в зависимости от мощности разряда в мезосфере и его типа. Увеличение концентрации электронов в области мезопаузы (~90 км) в связи с большим временем жизни свободных электронов по сравнению с нижележащей мезосферой будет приводить к увеличению поглощения отраженных от ионосферы коротких радиоволн указанного диапазона вследствие увеличения числа соударений электронов и нейтралов. Этот эффект отчетливо наблюдается под действием электромагнитного поля тропосферных молниевых разрядов. Обзор [Haldoupis, 2018] достаточно детально разбирает ряд работ, посвященных исследованиям взаимосвязи тропосферной грозовой активности и динамики ионосферного спорадического слоя Es (95–130 км). Основной вывод заключается в том, что высокая проводимость Eобласти ионосферы делает невозможным развитие электрического разряда в ней. Зеленое свечение, возникающее на вершине спрайта, говорит о том, что часть энергичных электронов мезосферного разряда все же проникает до высот выше 90 км, где происходит возбуждение уровня 1s атомарного кислорода посредством электронного удара. Энергетический спектр электронов разряда зависит от величины поля поляризации ионосферной плазмы, поэтому в некоторых случаях при разрядке крупных тропосферных объемных зарядов в промежутке облако-земля, помимо ударного возбуждения (порог ~5 эВ), возможно появление дополнительной электронной концентрации вследствие ударной ионизации атомарного кислорода (порог ~14 эВ). Появившиеся вследствие ударной ионизации электроны гипотетически способны сформировать Es. Воздействие молниевых разрядов во всей толще атмосферы Земли на вертикальное распространение коротких радиоволн в диапазоне 1-10 МГц требует комплексного изучения для полного понимания степени влияния взаимоисключающих факторов.

Было проведено статистическое исследование характеристик ионосферы, получаемых ионозондом DPS-4 (Иркутск), во время гроз, действующих вблизи ионозонда. Использовались сведения из базы данных грозопеленгационной сети «Верея-МР» [Московенко и др., 2012], которая содержит сведения о координатах и времени возникновения молниевого разряда на территории РФ с 2012 по 2018 г. Статистические распределения наблюдаемых параметров ионосферы во время молниевых разрядов и за сутки до и после приведены на рис. 2.2.4.13.1. При возникновении дополнительной ионизации во время «green ghost» будут подвержены максимальной изменчивости характеристики спорадического слоя foEs и hEs — максимальная частота и высота максимума слоя соответственно. При появлении дополнительной ионизации в D-области, например вследствие развития спрайта, минимальная регистрируемая частота отраженного от ионосферы сигнала f_{\min} будет увеличиваться, поскольку поглощение коротких радиоволн возрастет вследствие увеличения частоты соударений электронов с нейтралами. Полное электронное содержание TEC также гипотетически может увеличиться при возникновении дополнительной ионизации вследствие развития разрядов в нижней ионосфере. Как видно из рис. 2.2.4.13.1, выборки параметров с сигналом и с шумом имеют схожие статистические распределения, и изменения их средних значений не указывают на изменение ионосферных характеристик при наличии тропосферного молниевого разряда или при его отсутствии.



Рис. 2.2.4.13.1. Статистические распределения параметров ионосферы, полученные во время молниевого разряда (красное), за сутки до (синее) и после (зеленое) него: верхние панели — параметры Es: максимальная частота (слева), высота максимума (справа); нижние панели — минимальная принимаемая частота (слева) и полное электронное содержание (справа); вертикальные цветные линии — средние значения распределений соответствующего цвета

Выполненное исследование не претендует на полноту. Помимо использованных в работе сведений о молниевых разрядах и параметрах ионосферы существуют базы данных других сетей инструментов, которые способны предоставить более репрезентативную статистику. Например, разрабатываемой в рамках проекта «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» экспериментальной грозопеленгационной сети [Ткачев и др., 2021] и сети ЛЧМ-ионозондов [Подлесный и др., 2013], к исследованиям можно привлечь также спутниковые данные. Сопоставление оптической и радиофизической информации о спрайтах, эльфах, «зеленых призраках» позволит развить радиофизические методы, которые при регистрации этих явлений могут быть более эффективными, чем оптические методы наблюдения, сильно ограничиваемые погодными условиями.

Публикация:

Васильев Р.В., Ратовский К.Г. Оценка воздействия спрайтов с GHOST на ионосферу по данным ионозонда «DPS-4» и грозопеленгационной сети «Верея-МР» // Атмосферная радиация и динамика (МСАРД- 2023): Сборник трудов Международного симпозиума, Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 г. СПб.: ООО «Издательство BBM», 2023. С. 254–257. EDN FQBRHQ.

Литература:

Московенко В.М., Знаменщиков Б.П., Золотарев С.В. Применение системы грозопеленгации «Верея-МР» в интересах электроэнергетики России // Новое в российской электроэнергетике. 2012. № 2. С. 15–23.

Подлесный А.В., Брынько И.Г., Куркин В.И. и др. Многофункциональный ЛЧМ-ионозонд для мониторинга ионосферы // Гелиогеофиз. иссл. 2013. № 4. С. 24–31.

Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Белоусова Е.П. Кластерный анализ молниевых разрядов по данным грозопеленгационной сети «Верея-МР» // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 91–98. DOI: 10.12737/szf-74202109.

Haldoupis C. Is there a conclusive evidence on lightning-related effects on sporadic E layers? // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2018. Vol. 172. P. 117–121. DOI: 10.1016/j.jastp.2018.03.024.

2.2.4.14. Сопоставление динамики термальных точек и зарегистрированных пожаров с динамикой молниевых разрядов на Байкальской природной территории в 2012–2018 гг.

Грант № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научнотехнологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»). Руководитель — акад. РАН И.В. Бычков. Авторы результата к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, к.ф.-м.н. М.А. Тащилин, А.В. Татарников.

Исследована динамика статистических характеристик и корреляций параметров гроз, термальных точек, ассоциированных с пожарами, и фактически зарегистрированных пожаров на Байкальской природной территории.

Динамика гроз оценивалась с использованием сведений о молниевых разрядах, зарегистрированных на сети приемников СДВ-диапазона «Верея-МР» [Московенко и др., 2012], предназначенных для выявления из радиоэфира электромагнитных импульсов, возникающих вследствие разрядов молний. Синхронизация приемников при помощи глобальных спутниковых навигационных систем позволяет добиться точности регистрации местоположения разряда 1–10 км и субсекундной временной привязки. База данных «Верея-МР» содержит сведения о координатах и времени возникновения молниевого разряда на территории РФ с 2012 по 2018 г.

Для оценки динамики пожаров использовались данные за 2012–2018 гг. о координатах и времени возникновения пожаров Региональной диспетчерской службы ОГАУ «Иркутская база авиационной и наземной охраны лесов», охватывающие территорию Иркутской области. Доступ к данным был предоставлен в рамках Соглашения о взаимодействии между ОГАУ «Иркутская база авиационной и наземной охраны лесов» и ИСЗФ СО РАН от 14.03.2023 г. В исследовании использовались сведения о пожарах, возникших по причине молниевых разрядов от гроз. Сотрудники Министерства лесного комплекса Иркутской области и подведомственных учреждений, в частности, лесной охраны, определяют предварительную причину лесного пожара путем обследования территории, пройденной огнем. Пожару присваивается статус возникшего по причине молниевых разрядов от гроз, если сотрудники лесной охраны обнаруживают на месте возгорания явные признаки поражения молниевым разрядом, например, обуглившееся дерево или иные признаки.

Кроме подтвержденных пожаров в исследовании использовалась база данных термальных точек, составленная по данным прибора AVHRR, установленного на спутниках POES. Температурные карты поверхности, полученные этим устройством, обрабатывались для поиска локальных максимумов, которые предположительно являются очагами пожаров [Абушенко и др., 1999]. Снимки земной поверхности были получены с помощью аппаратно-программного комплекса «Алиса-СК^{тм}» компании «Инженерно-технологический центр "СканЭкс"» [https://www.scanex.ru], который предназначен для приема и обработки информации, передаваемой с полярно-орбитальных искусственных спутников Земли в диапазоне 1.7 ГГц.

Возникшему от грозы пожару должен предшествовать один или несколько молниевых разрядов, произошедших вблизи координат пожара. Для установления интервала времени, в среднем требующегося для развития пожара от молниевого разряда, был проведен статистический анализ временных интервалов между датой пожара и датами молниевых разрядов, произошедших в окружности радиусом 10 км с центром в координатах пожара. Даты молниевых разрядов внутри указанной области выбирались в интервале ±14 дней от даты пожара. Карта зарегистрированных пожаров и молниевых разрядов, выбранных по описанному критерию, приведена на рис. 2.2.4.14.1 вверху слева. Гистограмма временных интервалов между молниевыми разрядами и подтвержденными пожарами за 2012–2018 гг. приведена на рис. 2.2.4.14.1 внизу. Исследуемый набор данных характеризуется неравномерным распределением пожаров по поверхности и ограничен границами Иркутской области, а временная динамика пожаров и молний может иметь собственную автокоррелирующую структуру. Существует вероятность того, что форма полученного распределения временных интервалов может быть обусловлена указанными особенностями. Проверка возможного влияния структуры набора данных на результат статистической выборки проводилась при помощи численных экспериментов с выборкой. Координаты пожара смещались внутри окружности радиусом 20 км относительно его положения, а дата его возникновения — на интервал ± 14 дней. Временной интервал для изменения даты и местоположения каждого пожара определялись случайным образом. Отбор молниевых разрядов в новых координатах проводился по тому же критерию, что и для зарегистрированного пожара. Одна из карт численного эксперимента приведена на рис. 2.2.4.14.1 вверху справа, а статистические распределения десяти проведенных численных экспериментов и их средние значения показаны красными линиями на нижней панели рис. 2.2.4.14.1.



Рис. 2.2.4.14.1. Вверху: слева — карта зарегистрированных пожаров (красные значки) и молниевых разрядов, выбранных по описанному в тексте критерию (синие значки); справа — карта численного эксперимента; фиолетовым показаны случайные координаты пожара, зеленым — отобранные молниевые разряды; внизу — распределение временных интервалов между зарегистрированными пожарами и молниевыми разрядами (голубые столбцы), красные линии — распределения, полученные в численных экспериментах

Количество временных интервалов между молниевыми разрядами и пожарами приблизительно одинаково в диапазонах от -14 до -5 дней и от 7 до 14 дней, что говорит о том, что разряды в эти периоды, по всей видимости, не связаны с пожаром. Количество интервалов в диапазоне от -5 до 7 дней превышает средний уровень, здесь можно выделить два максимума шириной приблизительно три дня, один находится перед нулевой отметкой времени (дата пожара), другой — через пять дней после пожара. Несмотря на то, что средний результат численных экспериментов находится на уровне случайных совпадений, дисперсия для отдельных экспериментов гипотетически может сформировать полученный результат. Поэтому для дальнейших тестов был задействован набор данных по термальным точкам. Термальными точками могут быть как действующие лесные пожары, так и разогретые участки поверхности, лишенные растительности на фоне леса, или острова на водных объектах. Несмотря на то, что регистрация термальной точки может быть следствием неполадок аппаратуры или помех при приеме спутниковых данных, количество термальных точек в привлеченной базе на два порядка выше количества зарегистрированных пожаров, поэтому существует вероятность, что этот набор данных более качественно проявит динамику молниевых разрядов относительно лесных пожаров.

Карты термальных точек, молниевых разрядов, статистические распределения временных интервалов между возникновением разрядов и термальных точек, а также результаты численных экспериментов, полученные таким же образом, как и для действующих пожаров, приведены на рис. 2.2.4.14.2.



Рис. 2.2.4.14.2. То же, что и для рис. 2.2.4.14.1, но для термальных точек

Сопоставление динамики количества молниевых разрядов с динамикой количества зарегистрированных пожаров и термальных точек показывает, что отмеченные особенности статистических распределений проявились более отчетливо, похоже, что большинство термальных точек — это незарегистрированные пожары. По всей видимости, пожар вызывают разряды, произошедшие за 2–4 дня до момента его обнаружения на спутниковых данных. При этом за день до пожара и в день пожара число разрядов должно быть меньше обычного, это связано с тем, что для развития пожара горючий лесоматериал не должен подвергаться действию влаги. Максимум молниевых разрядов после пожара, вероятно, возникает вследствие выделения тепла, влаги, газовых компонент и сажи во время пожара. Эти компоненты атмосферы способствуют развитию конвективной облачности над очагом пожара, вследствие чего там возникают грозы, увеличивая количество регистрируемых разрядов. Максимум развития грозовой активности над очагом пожара приходится на шестой день.

Полученные результаты демонстрируют устойчивую связь между временем возникновения пожара и молниевым разрядом. Эту информацию в дальнейшем можно использовать, например, для создания нейросети, которая на динамических картах метеопараметров и молниевых разрядов будет определять возможные места возникновения пожаров. Сведения, получаемые от грозопеленгационных сетей, для прогнозирования пожаров от гроз необходимо расширить, дополнив их информацией о длительности импульса тока, поскольку именно длительные импульсы вызывают возгорания. Эти сведения можно получить, используя экспериментальные грозопеленгационные сети [Ткачев и др., 2021].

Задержка относительно времени возникновения пожара второго максимума распределения временных интервалов, возможно, является индикатором отрицательной обратной связи в системе очаг пожара — атмосфера, которая гипотетически может приводить к гашению летних лесных пожаров индуцированными ими ливнями. Эти сведения могут в значительной степени повлиять на параметризацию гроз и лесных пожаров в климатических моделях. Очевидно, что исследование необходимо продолжать с использованием других наборов данных и с привлечением моделирования параметров атмосферы.

Публикации:

1. Васильев Р.В., Тащилин М.А., Татарников А.В. Сопоставление динамики термальных точек и зарегистрированных лесных пожаров с динамикой молниевых разрядов на Байкальской природной территории // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 37–45. DOI:10.25743/ICT.2023.28.6.004.

2. Vasilyev R.V., Tashilin M.A., Tatarnikov A.V. Comparison of the dynamics of hot spots and recorded thunderstorms with the dynamics of lightning discharges over the Baikal natural territory in 2012–2018 // International Symposium «Atmospheric Radiation and Dynamics» (ISARD-2023). Saint-Petersburg, 2023. P. 66–70. EDN KEPJUD.

Литература:

Абушенко Н.А., Минько Н.П., Семенов С.М., и др. Автоматизированный алгоритм обнаружения лесных пожаров по многоспектральным данным прибора AVHRR/NOAA // Сборник докладов III Всероссийской научной конференции «Применение дистанционных радиофизических методов в исследованиях природной среды», Муром, 1999. С. 210211.

Московенко В.М., Знаменщиков Б.П., Золотарев С.В. Применение системы грозопеленгации «Верея-МР» в интересах электроэнергетики России // Новое в российской электроэнергетике. 2012. № 2. С. 15–23.

Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Белоусова Е.П. Кластерный анализ молниевых разрядов по данным грозопеленгационной сети «Верея-МР» // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7, № 4. С. 91–98. DOI: 10.12737/szf-74202109.

2.2.4.15. Создание сети грозопеленгационных пунктов ИСЗФ СО РАН

Грант № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научнотехнологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»). Руководитель — акад. РАН И.В. Бычков. Авторы результата к.ф.-м.н. Р.В. Васильев, И.Д. Ткачёв.

Завершение работы грозопеленгационной сети «Верея-МР» и интерес к исследованиям событий атмосферного электричества в контексте солнечно-земной физики сделали актуальной задачу создания новой грозопеленгационной сети на юге Восточной Сибири. Крупный научный проект, посвященный вопросам определения методов мониторинга опасных природных явлений и экологии Байкальской природной территории, способствует созданию такой сети. Молниевая активность и параметры разрядов молний, записываемые в действующей экспериментальной сети, позволят оценивать и прогнозировать динамику лесных пожаров, интенсивных осадков, а также отслеживать не только высотные молниевые разряды, но и влияние геофизического окружения на активность атмосферного электричества и пр.

В рамках данной задачи в июне 2023 г. была совершена командировка в г. Братск для переноса грозопеленгационного пункта из Иркутска в Братск (база Авиалесохраны). Результатом командировки является успешная установка регистрирующего оборудования. В октябре 2023 г. 4-й грозопеленгационный пункт был развернут в п. Нижнеангарск на базе Забайкальской авиационной охраны лесов. Таким образом, количество регистрирующих пунктов на конец октября 2023 г. составляет 4 (ГФО (Торы) и БАО (п. Листвянка) ИСЗФ СО РАН, базы авиалесохраны в Братске и Нижнеангарске, см. рис. 2.2.4.15.1). Для дальнейшего увеличения грозопеленгационной сети были закуплены еще два комплекта устройств.



Рис. 2.2.4.15.1. Расположение грозопеленгационных пунктов на территориях Иркутской области и Республики Бурятия (данные на октябрь 2023 г.)

Обработка данных грозопеленгационной сети разбита на несколько этапов. На каждом отдельном регистрирующем пункте раз в сутки запускается алгоритм, который производит выделение импульсов от молниевых разрядов из общего массива данных. Если импульс превышает установленный порог и значимых точек в нем больше трех (точки, связанные с импульсом, превышающие порог), то происходит запись в таблицу. В таблицу заносится время регистрации импульса, его мощность и длительность. Таблицы с параметрами импульсов со всех пунктов грозопеленгации передаются на сервер в ИСЗФ СО РАН. На сервере с использованием полученных таблиц запускается алгоритм поиска импульсов, зарегистрированных произвольной тройкой грозопеленгационных пунктов при условии, что время между импульсами не превышает времени распространения электромагнитного сигнала между пунктами. Для полученных троек импульсов с использованием метода TDoA (Time Difference of Arrival) вычисляются координаты молниевых разрядов.



Рис. 2.2.4.15.2. Антенны грозопеленгационных пунктов в Братске (слева) и Нижнеангарске (справа) и комплекс регистрирующих устройств (посередине)

На основе данных, полученных летом 2023 г., была произведена оптимизация алгоритма поиска импульсов. После того как на сервер загружены таблицы с импульсами, зарегистрированными на каждом пункте, необходимо установить соответствие времен нескольких импульсов с молниевым разрядом, который был причиной этих импульсов. Зная расстояние между пунктами и скорость света, мы можем рассчитать максимально допустимую разницу времен между импульсами, зарегистрированными на разных пунктах. До модернизации алгоритма поиск происходил так: выбиралось время импульса, зарегистрированного на первом пункте, и проводилось вычитание этого времени из всех времен импульсов, зарегистрированных на втором пункте. Такое же сравнение проводилось для первого и третьего пункта. Затем выбираются такие Δt , которые не превышают максимально допустимые Δt_{max} для выбранных пунктов. Если найдены времена импульсов, удовлетворяющие условиям $\Delta t < \pm \Delta t_{max}$, то эти импульсы записываются в таблицу. Минус данного алгоритма заключается в том, что приходится проводить сравнение времени одного импульса на одном пункте со всеми импульсами на другом пункте (таких импульсов может быть больше 100 000), а это сильно замедляет процесс обработки. Поэтому в новом алгоритме сравнение проводится не со всем набором данных, а только с теми временами, которые удовлетворяют условию $-\Delta t_{max} < \Delta t < \Delta t_{max}$. Мы выбираем время на первом пункте, начинаем сравнивать со временами во втором пункте, как только $\Delta t > \Delta t_{\text{max}}$, останавливаем сравнение, выбираем время, удовлетворяющее условию (если такое есть), переходим на сравнение с временами с других пунктов. При этом запоминается индекс времени импульса, при котором начинает выполняться условие $-\Delta t_{\text{max}} < \Delta t$. Такое действие позволяет на следующем шагу цикла начинать сравнение не с началом списка времен на другом пункте, а уже с определенного времени. Таким образом, реализуется скользящее окно, внутри которого выполняется условие $-\Delta t_{\max} < \Delta t < \Delta t_{\max}$. Использование такого подхода в алгоритме поиска импульсов позволяет ускорить обработку данных в 20 раз в сравнении с предыдущим вариантом алгоритма. Существенная работа была проведена при модернизации алгоритма определения координат молниевого разряда. Для этого был адаптирован алгоритм аналитического решения, описанный в [Takagi et al., 2022]. В основе алгоритма лежит методика TDoA. Чтобы вычислить координаты молниевого разряда, достаточно знать разницу времени регистрации импульса на трех пунктах (минимум) и координаты соответствующих пунктов. После того как были получены координаты молниевых разрядов, было проведено сопоставление со спутниковыми данными по облачности для проверки валидности грозопеленгационных данных (рис. 2.2.4.15.3). Были использованы данные спутников NOAA-18 и -19. На рис. 2.2.4.15.3 в верхнем левом углу приведено время, в которое спутником сделан снимок. Синими точками нанесены молниевые разряды, накопленные в интервале времени ±30 мин от времени снимка. Размер синей точки соотносится с мощностью разряда.



Рис. 2.2.4.15.3. Сопоставление облачности с молниевыми разрядами по данным грозопеленгационной сети и спутников NOAA-18, -19

На изображениях видно, что есть области с хорошей корреляцией облачности и молниевых разрядов. Существуют также места, где есть молниевые разряды, но нет облачности — это может быть связано с выбором большого интервала накопления молниевых разрядов. На полученных картах видна структурированная картина расположения молниевых разрядов. Чтобы объяснить такое поведение молниевых разрядов, а также оценить особенности восстановления координат молниевого разряда, было проведено моделирование распространения сигнала от молниевого разряда в регионе, где расположены грозопеленгаторы.

Для моделирования работы грозопеленгационной сети была сформирована сетка 1000×1000 км, заполненная молниевыми разрядами (рис. 2.2.4.15.4, вверху). Сетка состоит из ста столбцов и строк, соответственно, заряды расположены через каждые 10 км друг от друга. Время разряда выбиралось произвольно с шагом 1 с. Для каждой точки рассчитывались времена регистрации разряда на пункте, а также расстояния от разряда до определенного регистрирующего пункта. Зная координаты пунктов и временную разницу прихода импульса от разряда на определенный регистратор, можно с помощью алгоритма восстановить модельную точку. Результат такой операции представлен на нижней панели рис. 2.2.4.15.4. Видно, что существуют области, в которых из-за того, что алгоритм дает два удовлетворяющих решения вместо одного, не удается восстановить правильное положение молниевого разряда. Такой же результат был получен при исследовании подобных алгоритмов в работах [Herath, Pathirana, 2013; Hubáček et al., 2022]. Кроме того, точность восстановления разряда падает при удалении местоположения разряда от средней точки между пунктами регистрации. Правильного восстановления координат молниевого разряда можно добиться, используя четыре регистрирующих пункта. Для подтверждения этого тезиса необходимо будет провести дополнительное моделирование.



Рис. 2.2.4.15.4. Модельные данные для проверки алгоритма (вверху) и координаты молниевых разрядов, восстановленные алгоритмом (внизу). Цветными точками обозначено расположение грозопеленгационных пунктов на плоскости: черная — Братск, красная — Торы, зеленая — Листвянка

Публикации:

Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Полетаев А.С., Ченский А.Г. Сопоставление координат молниевых разрядов со спутниковыми данными облачности над Байкальской природной территорией 13–17 ноября 2023 года // Материалы 21-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2023. С. 176. DOI 10.21046/21DZZconf-2023a.

Tkachev I.D., Vasilyev R.V., Poletaev A.S., Chensky A.G. Thunderstorm activity monitoring in the Baikal natural area // 46-й ежегодный Апатитский семинар "Физика авроральных явлений", 13–17 марта 2023 г. URL: http://pgia.ru/seminar/abstracts_2023.pdf.

Литература:

Herath S.C.K., Pathirana P.N. Robust localization with minimum number of TDoA measurements // IEEE Signal Proc. Lett. 2013. Vol. 20, no. 10. P. 949–951. DOI: 10.1109/LSP.2013.2274273.

Hubáček P., Veselý J., Olivová J. The complete analytical solution of the TDOA localization method // Defence Sci. J. 2022. Vol. 72, no. 2. P. 227–235. DOI: 10.14429/dsj.72.16933.Fang B.T. Simple solutions for hyperbolic and related position fixes // Trans. Aerospace and Electr. Sys. 1990. Vol. 26, no. 5. P. 748–753. DOI: 10.1109/7.102710.

Takagi J., Kanazawa H., Ichikawa K., Mitamura H. A simple intuitive method for seeking intersections of hyperbolas for acoustic positioning biotelemetry // PLoS ONE. 2022. Vol. 17, no. 11, e0276289. DOI: 10.1371/journal.pone.0276289.

2.2.4.16. Мониторинг прозрачности атмосферы в темное время суток по данным оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса

Грант № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научнотехнологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»). Руководитель — акад. РАН И.В. Бычков. Автор результата — к.ф.-м.н. А.Б. Белецкий.

Проведена работа по оценке атмосферного поглощения в темное время суток на основе данных широкоугольных оптических систем Национального гелиогеофизического комплекса (НГК) [Васильев и др., 2020]. В состав комплекса входят две идентичные камеры всего неба КЕО Sentry 4 с разным набором интерференционных светофильтров. Поле зрения камер 180°, направление визирования — зенит. Выбор спектрального диапазона обеспечивается автоматически сменяемыми интерференционными фильтрами (нижняя панель рис. 2.2.4.16.1). Время экспозиции для каналов с узким спектральным диапазоном составляет 55 с, для широкополосного канала ОН (715–930 нм) — 7 с. Центры полосы пропускания фильтров приведены в нанометрах (в скобках указана полуширина пропускания фильтров): камера ASI0: 557.7(2), 630.0(2), 840.0(1.8), 846.5(1.8), 857.0(1.8); камера ASI1: 557.7(2), 630.0(2), 427.8(2), 589.3(2), 865.0(10). Кроме вышеперечисленных фильтров на обеих камерах установлены широкополосные фильтры 715–930 нм с блокированием спектрального интервала с центром 865 нм и полушириной 18 нм.

На рис. 2.2.4.16.1 показан усредненный спектр свечения ночного неба в диапазоне 400–900 нм за 23.01.2023, полученный с помощью спектрометра KEO Spectrograph VISI-BLE, входящего в состав оборудования НГК. Цветом выделены спектральные каналы камер всего неба ASI0 и ASI1.



Рис. 2.2.4.16.1. Кадры камер всего неба (верхняя панель) для некоторых спектральных каналов (указано стрелками). Спектр свечения ночного неба в диапазоне 400–900 нм (нижняя панель, усредненный спектр за 23.01.2023), полученный с помощью спектрометра KEO Spectrograph VIS-IBLE. Цветом показаны спектральные каналы камер всего неба ASI0 и ASI1

На рис. 2.2.4.16.2, б показан временной ход отношения освещенности, создаваемой Полярной звездой на границе земной атмосферы [Харитонов и др., 1978], к интенсивности Полярной звезды, зарегистрированной в каналах 557.7 нм и 630 нм камеры ASI0. Результаты, представленные на рис. 2.2.4.16.2, *a*, демонстрируют применимость методики для интерпретации наблюдений собственного свечения верхней атмосферы. Локальный максимум средней интенсивности эмиссии 557.7 нм в 14 UT может быть связан с прохождением слабой облачности или дымки, на что указывает снижение интенсивности Полярной звезды. Локальные максимумы в 18:30 и 21:40 UT отражают, скорее всего, вариации атмосферной эмиссии. Уменьшение рассчитанной интенсивности Полярной звезды в более чем три раза на временном промежутке 13:00–17:30 UT может быть связано в том числе с недостатками алгоритма выделения звезды на кадре камеры.



Рис. 2.2.4.16.2. Временной ход интенсивности Полярной звезды 01.01.2022, рассчитанный по данным камеры ASI0 (*a*) в спектральных каналах 557.7 нм (зеленая кривая), 630 нм (красная кривая) и 715–930 нм (OH, лиловая кривая); темно-зеленая и темно-красная кривые — временной ход средней по кадру интенсивности в спектральных каналах 557.7 и 630 нм соответственно. Временной ход интенсивности Полярной звезды, нормированной на значение внеатмосферной яркости в соответствующих спектральных диапазонах [Харитонов и др., 1978] (*б*)

На рис. 2.2.4.16.3 показан временной ход интенсивности нескольких звезд, нормированной на их внеатмосферные яркости. Данные получены с помощью камеры ASI0 1 января 2022 г.

Представленные результаты демонстрируют возможность оценки атмосферного поглощения на основе данных камер всего неба, предназначенных для регистрации пространственного распределения интенсивности атмосферных эмиссий верхней атмосферы Земли. Камеры всего неба НГК работают в мониторинговом режиме и могут использоваться не только в исследованиях верхней атмосферы, но и для экологического мониторинга, а также для дополнения информации о вариациях параметров нижней атмосферы. Контроль прозрачности атмосферной толщи в ночное время позволит дополнить данные дневных измерений, проводимых, например, с помощью солнечных фотометров CIMEL международной сети Aeronet (https://aeronet.gsfc.nasa.gov), и позволит проводить круглосуточный мониторинг облачности и атмосферного поглощения наземными методами.



Рис. 2.2.4.16.3. Временной ход относительной интенсивности звезд Кохаб (*a*), Мирфак (δ), Альхена (*в*) и Денеб (*г*) 01.01.2022, рассчитанный по данным камеры ASI0 в спектральных каналах 557.7 нм (зеленая кривая) и 630 нм (красная кривая)

Публикации:

Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Яковлева И.П., Васильев Р.В., Татарников А.В., Щеглова Е.С., Костылева Н.В. Мониторинг прозрачности атмосферы в темное время суток по данным оптических инструментов Национального Гелиогеофизического комплекса // Атмосферная радиация и динамика (МСАРД- 2023): Сборник трудов Международного симпозиума, Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 г. СПб.: ООО «Издательство BBM», 2023. С. 54–57. EDN WSUTAR.

Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Яковлева И.П., Васильев Р.В., Татарников А.В., Щеглова Е.С., Костылева Н.В. Использование широкоугольных камер Национального гелиогеофизического комплекса для мониторинга прозрачности атмосферы в ночное время // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: тез. докл. XIV Рос.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 2023. С. 16.

Литература:

Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., и др. Научные задачи оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 2. С. 105–122. DOI 10.12737/szf-62202008.

Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Сводный спектрофотометрический каталог звезд. Алма-Ата: Наука, 1978. 198 с.

2.2.4.17. Исследование проявлений волновых возмущений в излучении атмосферной эмиссии 630.0 нм, стимулированных мощным КВ-радиоизлучением стенда СУРА

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

Проведен анализ большого массива данных кампаний 2012–2022 гг. по регистрации свечения ионосферы, стимулированного мощным коротковолновым излучением стенда СУ-РА. Измерения проводились с помощью широкоугольной оптической системы КЕО Sentinel как непосредственно рядом со стендом СУРА (п. Васильсурск, Нижегородская область, 56.10° N, 46.10° E, 2012–2015 гг.), так и в 170 км к востоку от стенда (Магнитная обсерватория КФУ, п. Бело-Безводное, Республика Татарстан, 55.56° N, 48.45° E, 2016–2022 гг.).



Рис. 2.2.4.17.1. Кадры, сделанные камерой КЕО Sentinel 7 августа 2021 г. Красная окруж-

ность отмечает расчетное положение пятна свечения, индуцированного излучением стенда Сура (на представленных кадрах пятно свечения не различается)



Рис. 2.2.4.17.2. Кадры, сделанные камерой КЕО Sentinel 10 августа 2021 г. Красная окружность отмечает расчетное положение пятна свечения, индуцированного излучением стенда Сура (на представленных кадрах пятно свечения не различается)

Седьмого и десятого августа 2021 г. в магнитной обсерватории КФУ сразу после включения оптической системы наблюдались практически идентичные по форме и дальнейшему поведению образования слабой интенсивности. Кадры, полученные с помощью оптической системы KEO Sentinel 7 и 10 августа 2021 г., приведены на рис. 2.2.4.17.1 и 2.2.4.17.2 соответственно.

Наблюдается движение уединенной волны протяженностью не менее 400 км на югозапад и движение фронта подобного пространственного масштаба на северо-восток. Седьмого августа 2021 г. оцененная скорость движения фронта на юго-запад составила ~104 м/с, на северо-восток ~127 м/с; 10 августа 2021 г. — на юго-запад ~71 м/с, на северовосток ~142 м/с. Оценка приведена для высоты 300 км (высота максимума F2 слоя ионосферы по данным ионозонда).

Зарегистрированные 7 и 10 августа 2021 г. образования на данный момент нельзя связать с работой стенда СУРА. Во время запуска оптических измерений и перед выходом стенда СУРА на режим эксперимента эти образования уже присутствовали. Измерения с идентичными параметрами излучения стенда СУРА и параметрами регистрации оптической системы КЕО Sentinel проводились также 5, 8, 11 и 12 августа 2021 г. Подобных образований в эти дни измерений не обнаружено. Ранее был проведен предварительный анализ экспериментальных данных для исследования пятна стимулированного свечения ионосферы. Подавление фонового свечения ионосферы, коррелированное с циклами включения волны накачки, наблюдалось 10 и 11 августа 2021 г.; 5 августа 2021 г. зарегистрировано увеличение свечения ионосферы, стимулированное мощным излучением стенда СУРА; 7 августа эффектов, коррелированных с излучением стенда СУРА, обнаружено не было.

Публикация:

Белецкий А.Б., Насыров И.А., Подлесный С.В., Сыренова Т.Е., Емельянов В.В. Исследование проявлений волновых возмущений в излучении атмосферной эмиссии 630.0 нм, стимулированных мощным КВ-радиоизлучением стенда СУРА // Атмосферная радиация и динамика (МСАРД- 2023): Сборник трудов Международного симпозиума, Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 г. СПб.: ООО «Издательство BBM», 2023. С. 207–210.

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

2.2.5.1. Радиальная структура квазимонохроматических альфвеновских колебаний, наблюдаемых на спутнике

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

Исследована радиальная структура квазимонохроматических альфвеновских колебаний, наблюдавшихся на спутнике RBSP-A 23 октября 2012 г. в 22:00–22:30 UT (рис. 2.2.5.1.1). Для определения радиальной структуры использован метод фазовых портретов, основанный на анализе разности фаз поперечных компонент магнитного поля колебаний. Показано, что наблюдаемые колебания можно интерпретировать как полоидальные резонансные альфвеновские колебания, возбуждаемые на близко расположенных резонансных поверхностях в окрестности локального максимума распределения альфвеновской скорости. Вдоль силовых линий такие колебания имеют вид фундаментальной гармоники стоячих волн, а в радиальном — волн, бегущих в противоположных направлениях от полоидальных резонансных поверхностей к соответствующим тороидальным резонансным поверхностям.



Рис. 2.2.5.1.1. Данные наблюдений спутника RBSP-A 23.10.2012 в 22:00–22:30 UT (a, сверху вниз): азимутальная компонента магнитного поля монохроматических колебаний ($f = 12 \text{ м}\Gamma\mu$) (синяя линия), радиальная компонента магнитного поля монохроматических колебаний (красная линия), разность фаз азимутальной и радиальной компоненты магнитного поля (черная линия); серыми линиями показаны компоненты магнитного поля до применения узкополосного фильтра. Результаты численного расчета структуры монохроматических альфвеновских колебаний, генерируемых в окрестности локального максимума альфвеновской скорости (δ): радиальные зависимости азимутальной (синяя линия) и радиальной (красная линия) компонент магнитного поля, а также разность фаз азимутальной и радиальной компонент магнитного поля колебаний (черная линия); вертикальными линиями показаны положения полоидальных (красные) и тороидальных (синие) резонансных поверхностей

Публикация:

Kozlov D.A., Leonovich A.S., Vlasov A.A. Determining the radial structure of high-m Alfvén wave by means of the "phase portrait" method // Adv. Space Res. 2023. DOI: 10.1016/j.asr.2023.08.009.

2.2.5.2. Дисперсия и пространственная структура связанных альфвеновских и медленных магнитозвуковых колебаний в солнечной короне

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

Выполнен численный и аналитический анализ магнитогидродинамических (МГД) волн в корональных арках Солнца с использованием цилиндрической модели солнечной плазмы, в которой силовые линии арок представляются полуокружностями, вложенными в коаксиальный полуцилиндр. Предполагается, что «гофрированные» возмущения обладают короткой длиной волны в продольном направлении арки. В этом пределе существуют только две МГД-моды — альфвеновская и медленный магнитный звук, связанные кривизной силовых линий. Рассмотрена поперечная дисперсия мод, т. е. зависимость компоненты радиального волнового вектора k_r от частоты волны ω . Установлено, что МГДволны сосредоточены в двух областях прозрачности ($k_r > 0$), каждая из которых с одной стороны ограничена резонансной частотой, где $k_r \to \infty$, и частотой отсечки ($k_r = 0$) с другой стороны области прозрачности. В обеих областях прозрачности «гофрированные» возмущения имеют как поперечное электрическое поле (характерное для альфвеновской моды), так и продольную скорость (характерную для медленной моды). Рассчитана волновая структура вдоль силовой линии для нескольких модельных параметров плазмы.

Публикация:

Petrashchuk A.V., Anfinogentov S.A., Fedenev V.V., Mager P.N., Klimushkin D.Yu. Dispersion and spatial structure of the coupled Alfvén and slow magnetosonic oscillations in the Solar corona // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2023. Vol. 525, iss. 4. P. 5669–5676. DOI: 10.1093/mnras/stad2635.

2.2.5.3. Исследование взаимодействия ультранизкочастотных волн с электронами

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. О.С. Михайлова.

Представлены исследования двух случаев наблюдения взаимодействия ультранизкочастотных волн с электронами. В обоих случаях распространяющаяся на восток альфвеновская волна со значимой полоидальной составляющей усиливалась посредством дрейфового резонанса с энергичными электронами, но механизмы генерации были разными: кинетическая нестабильность в одном случае и переменный ток, создаваемый движением облака электронов, в другом. В первом случае были использованы данные спутников Van Allen Probe (рис. 2.2.5.3.1). Полоидальная альфвеновская волна наблюдалась одновременно с потоком электронов с энергией 38 кэВ, инжектированных в магнитосферу во время суббури. Было обнаружено, что волна генерировалась из-за неустойчивости, вызванной сильной радиальной неоднородностью электронной плотности (градиентная неустойчивость). Во втором случае волна наблюдалась по данным аппаратов MMS. Волна также находилась в дрейфовом резонансе с частицами, но условия для нестабильности плазмы не были выполнены. В этом случае волна, по-видимому, была сгенерирована посредством механизма движущегося источника, т. е. переменным током, создаваемым дрейфующим электронным облаком, инжектированным во время суббури.



Рис. 2.2.5.3.1. Модулированные потоки электронов в пяти диапазонах энергий (синие линии); радиальная компонента магнитного поля, отфильтрованная в диапазоне Pc5 (красные линии). Разность фаз между параметрами близка к $\pi/2$ для энергии электронов ~89 кэВ

Публикация:

Chelpanov M.A., Mikhailova O.S., Mager P.N., Smotrova E.E., Klimushkin D.Y. (). Various mechanisms of ULF wave–electron interaction: Case studies // Problems of Geocosmos – 2022. ICS 2022. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-40728-4_26.

2.2.5.4. Масштабно-инвариантная мода в бесстолкновительных сферических звездных системах

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

Получено точное аналитическое решение возмущенных уравнений звездной динамики (бесстолкновительного уравнения Больцмана и уравнения Пуассона), существующее во всех эргодических моделях бесстолкновительных сферических звездных систем, в описании которых содержится единственный параметр длины ℓ . Данное решение соответствует вариациям этого параметра, т. е. растяжению/сжатию сферы при сохранении полной массы. Это возмущение представляет собственную моду системы, названную нами масштабно-инвариантой модой. При этом система остается в равновесном состоянии, т. е. соответствует собственной частоте колебаний ω, равной нулю. Простота решения позволяет в явном виде дать аналитические выражения для функции распределения, потенциала и плотности звезд во всех порядках теории возмущений. Это, в свою очередь, помогает внести ясность в понятие энергии возмущения в звездных системах, которая, являясь величиной второго порядка по амплитуде, в принципе не может быть вычислена в линейной теории. Показано, что «честное» выражение для энергии возмущений, построенное с учетом возмущений 2-го порядка (т. е. истинная энергия), и известное в литературе выражение для энергии возмущений в виде квадратичной формы, полученное в рамках линейной теории из возмущений 1-го порядка (псевдоэнергия), не совпадают. Показано, что обе эти энергии являются интегралами движения в отсутствие внешних сил и могут иметь разные знаки, хотя отличаются лишь на константу. Обсуждаются возможные следствия для термодинамики звездных систем, вытекающие из различия истинной энергии и псевдоэнергии. Полученное решение можно также использовать в качестве тестового возмущения для контроля корректности кодов и точности вычислений при численном исследовании бесстолкновительных звездных моделей.

Публикация:

Поляченко Е.В., Шухман И.Г. Масштабно-инвариантная мода в бесстолкновительных сферических звездных системах // Астрон. Журн. 2023. Т. 100, № 11. С. 1–10. DOI: 10.31857/S0004629923110087.

2.2.5.5. Распространение внутренних гравитационных волн на фоне стационарного течения в канале изменяющейся ширины

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

В приближении мелкой двухслойной среды рассмотрена линейная задача о распространении внутренних гравитационных волн на фоне стационарного течения в канале изменяющейся вдоль потока ширины W(x). Глубины верхнего (1) и нижнего (2) слоев $H_{1,2}(x)$ и скорости течения в них $U_{1,2}(x)$ тоже меняются вдоль потока (рис. 2.2.5.5.1), в то время как плотности $\rho_{1,2}$ постоянны, а их разность мала, $0 < (\rho_2 - \rho_1)/\rho_2 << 1$. Показано, что с учетом сохранения потока жидкости в каждом из слоев и аналога теоремы Бернулли течение в канале полностью определяется заданием глубин слоев $H_1(x)$ и $H_2(x)$. При этом оказывается, что анализ тех случаев, когда течение в одном из слоев отсутствует, требует иного подхода, чем общий случай наличия течения в обоих слоях. Первая статья посвящена исследованию общего случая, вторая — изучению придонных ($U_1 = 0$) и поверхностных ($U_2 = 0$) течений. В каждом случае показано, что есть три класса течений, определяемых каждый своим соотношением между $U_{1,2}(x)$ и скоростью волн c(x), в которых волны произвольной формы распространяются без отражения как вдоль течения, так и против него. В простейшем случае (течения класса A) это алгебраические соотношения, а для течений классов B и C они имеют вид дифференциальных уравнений 1-го порядка. Установлено, что интервал безотражательного распространения, как правило, ограничен либо с одной стороны, либо с обеих. Случаи неограниченного (глобального) распространения волн без отражения обнаружены и подробно исследованы в течениях класса A (как общего, так и специального вида) и в придонных течениях классов B и C.



Рис. 2.2.5.5.1. Схема течения в канале. Штрихами показана возмущенная граница раздела С

Публикации:

Churilov S.M. Traveling internal waves in a two-layer shallow medium with variable bathymetry and current // Phys. Fluids. 2023. Vol. 35, 026602. DOI: 10.1063/5.0136422.

Churilov S.M. Traveling internal waves in a two-layer shallow medium with variable bathymetry and current. Surface and near-bottom flows // Phys. Fluids. 2023. Vol. 35, 076613. DOI: 10.1063/5.0160207.

2.2.5.6. Воздействие космической погоды на наземные транспортные системы

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. Д.А. Костарев.

Сделан обзор различных аспектов проблемы воздействия космической погоды на наземные транспортные системы. Анализ имеющейся информации показывает, что возмущения космической погоды могут повлиять на железнодорожную инфраструктуру как из-за прямого, так и косвенного воздействия на компоненты системы. Одним из основных факторов являются геоиндуцированные токи в заземленных протяженных конструкциях, возбуждаемые при возмущениях геомагнитного поля. Связанные с ними теллурические электрические поля и токи могут вызывать нарушения электроснабжения и сбои в функционировании рельсовых цепей железнодорожной автоматики. Косвенное воздействие возможно через нарушения стабильной подачи электроэнергии, нарушения в системах связи и ошибки местоопределения в навигационных спутниковых системах. Приведены необходимые для инженеров транспортных и энергетических систем сведения об основных факторах космической погоды, которые могли бы представлять угрозу для таких систем. Приведены примеры влияния геомагнитных возмущений на работу сигнализации северных участков Российских железных дорог (РЖД). Обсуждаются перспективы мониторинга в реальном времени и прогноза космической погоды и полярных сияний для нужд РЖД.

Публикация:

Пилипенко В.А., Черников А.А., Соловьев А.А., Ягова Н.В., Сахаров Я.А., Кудин Д.В., Костарев Д.В., Козырева О.В., Воробьев А.В., Белов А.В. Влияние космической погоды на надежность функционирования транспортных систем на высоких широтах // Russ. J. Earth. Sci. 2023. T. 23, ES2008. DOI: 10.2205/2023ES000824.

2.2.5.7. Геомагнитный мониторинг для снижения риска для трубопроводов от космической погоды

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. Д.А. Костарев.

При организации систем катодной защиты трубопроводов необходимо иметь возможность рассчитывать вариации электростатического потенциала «труба — земля» при геомагнитных возмущениях. С этой целью авторами разработан программный код для расчета потенциала трубопровода при заданном возмущении электротеллурического поля в поверхностных слоях Земли. В качестве примера проведены оценки искажения электростатического потенциала «почва — труба» при суббуре, имевшей место 9 октября 2018 г. и сопровождавшейся интенсивными геомагнитными Pi3-пульсациями. Использована база данных магнитных станций в Российской Арктике и глобальная модель проводимости поверхностных слоев Земли. Возмущение теллурического поля построено с помощью пересчета зарегистрированного магнитного возмущения в амплитуду теллурического поля по импедансному соотношению. Модельная трубопроводная сеть представлена в виде набора эквивалентных схем замещения, которые объединяются между собой для формирования узловой сети проводимости. С использованием метода узловой матрицы полной проводимости определены значения потенциала в узлах трубопроводной системы. Показано, что имеется как экспериментальная база, так и расчетная методика для количественной оценки вариаций электростатического потенциала трубопровода для любой заданной системы в Арктической зоне Российской Федерации. Результаты данной методики могут быть апробированы сопоставлением с вариациями защитного потенциала реальных трубопроводов.

Публикация:

Костарев Д. В., Пилипенко В.А., Козырева О.В. Геомагнитный мониторинг для снижения риска для трубопроводов от космической погоды // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Т. 13, № 1. С. 38–49. DOI: 10.28999/2541-9595-2023-13-1-38-49.

2.2.5.8. Разработка методов исследования глобальной грозовой активности на основе измерений шумановских резонансов

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

Разработаны оригинальные методы исследования глобальной грозовой активности на основе измерений шумановских резонансов (ШР). ШР — это глобальные электромагнитные резонансы полости Земля — ионосфера, подпитываемые вертикальной составляющей молниевых разрядов. С момента передачи заряда его разделение во время грозы происходит под действием силы тяжести, т.е. заряд в грозовых облаках обычно разделяется вертикально, поэтому каждая вспышка молнии вносит свой вклад в измеряемое поле ШР. Это обстоятельство делает измерения ШР удобными для исследований, связанных с климатом. В данном исследовании 19 дней глобальной молниевой активности в январе 2019 г. анализируются на основе записей интенсивности ШР на 18 станциях наблюдения ШР (рис. 2.2.5.8.1). Результаты сопоставлены с предоставленными независимыми наблюдениями молний наземных (WWLLN, GLD360 и ENTLN) и спутниковых (GLM, LIS/OTD) систем обнаружения молний в глобальном масштабе. Среднесуточные записи интенсивности ШР на разных станциях демонстрируют сильное сходство в исследуемом временном интервале. Предполагаемая интенсивность глобальной молниевой активности меняется в 2–3 раза на временном масштабе 3–5 дней, что мы связываем с изменениями температуры в континентальном масштабе, связанными с вбросами холодных воздушных масс из полярных регионов.



Рис. 2.2.5.8.1. Сравнение нормализованных среднесуточных значений интенсивности ШР (в относительных единицах) с глобальной ежесуточной частотой молниевых разрядов, предоставленной независимыми наблюдениями грозовой активности (WWLLN, GLD360, ENTLN), и с полным суточным числом грозовых часов наземных сетей. На верхней панели черные кривые соответствуют разным станциям наблюдения ШР, а красная кривая показывает среднее всех записей. Масштабированный вариант последней кривой показан также на остальных четырех панелях. На второй сверху панели показаны одновременные значения RelocB (бирюзовые столбцы) и аврорального индекса AE (синие) системы WWLLN

Публикация:

Bozóki T., Sátori G., Williams E., Guha A., Liu Y., Steinbach P., Leal A., Atkinson M., Beggan C.D., DiGangi E., Koloskov A., Kulak A., LaPierre J., Milling D.K., Mlynarczyk J., Neska A., Potapov A., Raita T., Rawat R., Said R., Sinha A.K., Yampolski Y. Day-to-day quantification of changes in global lightning activity based on Schumann resonances // J. Geophys. Res: Atmos. 2023. Vol. 128, iss. 11, e2023JD038557. DOI: <u>10.1029/2023JD038557</u>.

2.2.5.9. Распределение поляризации поперечных УНЧ-волн по данным Van Allen Probe A: существуют ли раздельно тороидальные и полоидальные волны в 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. Рубцов, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин.

Ультранизкочастотные (УНЧ) волны играют важную роль в переносе энергии внутри магнитосферы Земли за счет активного взаимодействия с окружающей плазмой. Предыдущие работы предполагали, что эти волны строго делятся по поляризации на тороидальные, когда магнитное поле осциллирует в азимутальном направлении, и полоидальные, когда оно осциллирует в радиальном направлении. Было определено, что первые являются азимутально-крупномасштабными и возбуждаются внешними источниками, а вторые — мелкомасштабными и генерируются внутренними неустойчивостями плазмы. Последние наблюдения показывают, что часто встречаются волны смешанной поляризации, однако природа этого смешения пока не объяснялась. Мы провели статистическое исследование и показали, что поляризация поперечных волн имеет нормальное распределение, а максимум соответствует колебаниям тороидальной и полоидальной составляющих с одинаковой амплитудой (рис. 2.2.5.9.1). Пространственные распределения тороидальных и полоидальных волн хотя и различаются заметно, но это различие приводит лишь к небольшому смещению положения максимума распределения. Этот результат показывает, что для сопоставления теории с наблюдениями УНЧ-волн необходимо учитывать процессы изменения поляризации, которые могут повлиять на взаимодействие волн с заряженными частицами магнитосферы.



Рис. 2.2.5.9.1. Распределение отношения средних амплитуд колебаний в азимутальной и радиальной компонентах магнитного поля $\langle b_a \rangle / \langle b_r \rangle$ для поперечных волн

Публикация:

Якимчук А.И., Рубцов А.В., Климушкин Д.Ю. Распределение поляризации поперечных УНЧ-волн по данным Van Allen Probe A: существуют ли раздельно тороидальные и полоидальные волны в магнитосфере? // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С 80–85. DOI: 10.12737/szf-94202309.

2.2.5.10. Определение понятия альфвеновской моды в неоднородном магнитном поле

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.Ю. Климушкин, к.ф.-м.н. П.Н. Магер.

Существуют два определения альфвеновской моды — электродинамическое и гидродинамическое. В первом случае альфвеновской модой считается волна с потенциальным поперечным электрическим полем. Во втором случае с альфвеновской модой чаще идентифицируются волны, движение плазмы в которых носит чисто вихревой характер. Хотя эти определения эквивалентны в однородной плазме, при учете кривизны магнитного поля они несовместимы: если поперечное электрическое поле является чисто потенциальным, то у скорости движения плазмы имеется не только вихревая, но и потенциальная составляющая, и наоборот. Электродинамическое и гидродинамическое определения эквивалентны только в том случае, если у электрического поля волны полностью отсутствует компонента вдоль бинормали к внешнему магнитному полю. Однако в природе таких волн не существует.

Публикация:

Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Об определении понятия альфвеновской моды в неоднородном магнитном поле // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, №. 1. С. 33–36. DOI: 10.12737/szf-91202304

2.2.5.11. Ультранизкочастотные резонаторы: к 80-летию открытия волн Альфвена

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

Представление о волнах Альвена, введенное в науку 80 лет тому назад, сыграло большую роль в становлении и развитии космической электродинамики. Волны Альвена отличаются тем, что в каждой точке пространства вектор групповой скорости и вектор внешнего магнитного поля коллинеарны друг другу, благодаря чему волны могут переносить импульс, энергию и информацию на большие расстояния. В память о выдающемся событии мы кратко описываем два резонатора Альвена, один из которых располагается высоко над Землей, в радиационном поясе, а второй — в ионосферных слоях. Оба резонатора имеют дискретный спектр в верхней части диапазона ультранизкочастотных колебаний естественного происхождения (ориентировочно от 0.2 до 7 Гц). Особо подчеркивается теснейшая связь представления о волнах Альвена с сегодняшними проблемами электродинамики геофизических сред.

Публикация:

Гульельми А.В., Клайн Б.И., Потапов А.С. Ультранизкочастотные резонаторы: к 80летию открытия волн Альвена // Астрономический вестник. 2023. Т. 57, № 4. С. 385–388.

2.2.5.12. О спектре ультранизкочастотных колебаний ионосферы в диапазоне Рс1

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

Представление о волнах Альфвена играет ключевую роль в теории ультранизкочастотных электромагнитных колебаний космического происхождения. Ультранизкочастотные колебания в диапазоне Pc1 (0.2–5 Гц) возбуждаются в ионосферном резонаторе Альфвена (IAR, Ionospheric Alfvén Resonator). При вычислении спектра колебаний в рамках стандартной модели предполагается, что IAR — это автономная динамическая система. В отличие от этого в данном случае IAR рассматривается как специфическая подсистема общей системы альфвеновских колебаний геомагнитных силовых линий. Другими словами, авторы исходят из представления о том, что IAR, вообще говоря, не является автономной колебательной системой. Задача о спектре IAR обсуждается в рамках общей задачи о спектре магнитогидродинамических колебаний магнитосферы Земли. Сформулирована соответствующая задача Штурма — Лиувилля. Аналитические решения задачи рассмотрены в приближении Вентцеля — Крамерса — Бриллюэна. Указано на необходимость численного решения задачи о спектре IAR ввиду довольно сложного распределения скорости Альфвена вдоль геомагнитных силовых линий.

Публикация:

Гульельми А.В., Клайн Б.И., Потапов А.С. О спектре ультранизкочастотных колебаний ионосферы в диапазоне Рс1 // Геофизические исследования. 2023. Т. 24, № 1. С. 74– 84. DOI: 10.21455/gr2023.1-5.

2.2.5.13. Оценка максимума электронной концентрации области F2 ионосферы по данным о частоте гармоник ионосферного альфвеновского резонатора

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

Предложена методика отслеживания частоты спектральных полос в течение суток по измерению их положения на графике суточного динамического спектра ИАР. С привлечением расчетов в рамках глобальной ионосферной модели IRI-2016 проверена корректность сравнения измеренных в одной точке частот резонансных полос с данными радиозондирования, выполнявшегося в других точках, удаленных от пунктов измерения частот ИАР на некоторое расстояние. Предложен алгоритм сравнения измеряемой радиозондом максимума электронной концентрации области F2 ионосферы (N_mF2) с частотами спектральных линий путем предварительного вычисления оценочного фактора. Он формируется на основе нелинейной комбинации частот трех наблюдаемых гармоник. Затем временной ряд этого фактора сравнивается с результатами радиозондирования, вычисляются коэффициенты корреляции и регрессии, подсчитываются ошибки оценок. На материале редких случаев круглосуточного наблюдения излучения ИАР в зимние месяцы 2011-2012 гг. была прослежена зависимость средней ошибки определения максимума электронной концентрации от местного времени. Приведены данные о наиболее благоприятных интервалах местного времени для определения N_mF2 по данным о частотах гармоник ИАР в зависимости от сезона. Обсуждаются некоторые дополнительные факторы, влияющие на точность оценок и определяющие частотный диапазон излучения ИАР.

Публикация:

Потапов А.С., Полюшкина Т.Н., Гульельми А.В., Ратовский К.Г., Москалев И.С. Спектральный анализ излучения ИАР для определения величины и изменчивости максимума электронной концентрации *N*_mF2 // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, №. 3. С. 47–57. DOI: 10.12737/szf-93202306.

2.2.5.14. Резкое увеличение альфвеновской скорости как индикатор плазмопаузы

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

Радиальное распределение плотности ионов в магнитосфере Земли может отличаться от распределения электронов, когда присутствует локальное узкое усиление потока тяжелых ионов, например, кислородный тор. Эта разница может быть важна при исследовании ультранизкочастотных (УНЧ) волн, которые включают в себя альфвеновские волны, чья собственная частота зависит от альфвеновской скорости и, следовательно, от плотности. Одним из следствий является сдвиг положения плазмопаузы, которая считается резонатором и областью генерации УНЧ-волн. Мы обнаружили, что увеличение альфвеновской скорости в 1.65 раза или более на радиальном расстоянии $0.5R_E$ является порогом, который соответствует классическому определению плазмопаузы: падение электронной концентрации в пять или более раз на радиальном расстоянии $0.5R_E$ (рис. 2.2.5.14.1). Этот результат был получен в приближении протонной плазмы, чтобы подтвердить, что альфвеновская скорость может быть использована для обнаружения плазмопаузы с той же точностью, что и с помощью электронной концентрации. Мы надеемся использовать этот порог, чтобы выявить положение плазмопаузы при включении более тяжелых ионов, когда прямое сравнение с электронной концентрацией невозможно.



Рис. 2.2.5.14.1. Распределение параметра *R* (черные круги) и отношения V_A^{out} / V_A^{in} (синие круги) в зависимости от положения плазмопаузы *LPP* по данным, спроецированным на геомагнитный экватор. Желтая гистограмма слева показывает распределение *R*; красная гистограмма справа — распределение V_A^{out} / V_A^{in} , где верхняя ячейка содержит значения $V_A^{out} / V_A^{in} \ge 10$. Горизонтальная красная штриховая линия обозначает *R*= $\sqrt{5}$

Публикация:

Rubtsov A.V., Nosé M., Matsuoka A., Kasahara Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Shinohara I., Miyoshi Y. Alfvén velocity sudden increase as an indicator of the plasmapause // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 245, 106040. DOI: 10.1016/j.jastp.2023.106040.

2.2.5.15. Поляризация и особенности пространственного распределения волн Рс4 и Рс5 в магнитосфере

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

Ультранизкочастотные волны взаимодействуют с различными популяциями частиц по всей магнитосфере. Некоторые механизмы взаимодействия связывают с определенными волновыми модами, но действительно ли это так и как насчет взаимодействия волн между собой? Мы представляем статистический анализ волн Рс4 и Рс5 в магнитосфере Земли, которые наблюдались спутником Arase с марта 2017 по декабрь 2020 г. Эти волны классифицировались по поляризации как тороидальные, полоидальные и компрессионные волны. Тороидальные и полоидальные считаются альфвеновскими волнами, которые являются собственными колебаниями силовых линий магнитного поля Земли. Первые считаются генерируемыми внешними источниками, тогда как последние — внутренними. Мы сравнили особенности пространственного распределения с хорошо известными частными случаями, чтобы выявить их природу для всех трех поляризаций. Большой наклон орбиты Arase помогает исследованию продольной структуры волны. Мы обнаружили, что тороидальные волны в основном являются нечетными гармониками, полоидальные волны — и четными, и нечетными гармониками альфвеновских волн, а компрессионные волны наблюдались лишь в узкой области вокруг экватора. Разные механизмы генерации волны, которые приводят к явным различиям в пространственном распределении тороидальных, полоидальных и компрессионных волн, могут возбуждать определенную поляризацию

волны. На удивление, статистика поляризации волн имеет нормальное распределение без отдельных кластеров (рис. 2.2.5.15.1). Мы предполагаем, что процессы изменения поляризации и сцепления мод делают смешанную поляризацию наиболее встречаемым типом поляризации в магнитосфере. Этот результат открывает вопрос о том, как процесс изменения поляризации влияет на взаимодействия волн с частицами, ответственные за перенос энергии через магнитосферу.



Рис. 2.2.5.15.1. Схематическое изображение статистики поляризации волн (*a*). Статистика по всем волнам в наборе данных (*b*). Отношение средних амплитуд продольной и азимутальной компонент магнитного поля волны $\langle b_{\parallel} \rangle / \langle b_{a} \rangle$ против отношения средних амплитуд продольной и радиальной компонент магнитного поля волны $\langle b_{\parallel} \rangle / \langle b_{r} \rangle$ представлено в логарифмическом масштабе. Верхняя гистограмма показывает распределение значений $\langle b_{\parallel} \rangle / \langle b_{a} \rangle$. Правая гистограмма показывает распределение значений $\langle b_{\parallel} \rangle / \langle b_{a} \rangle$. Пурпурная штриховая линия обозначает смешанную поляризацию поперечных волн, $\langle b_{r} \rangle / \langle b_{a} \rangle = 1$. Черный цвет означает отсутствие волн с данным соотношением амплитуд в наборе.

Публикация:

Rubtsov A.V., Nosé M., Matsuoka A., Shinohara I., Miyoshi Y. Polarization and spatial distribution features of Pc4 and Pc5 waves in the magnetosphere // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2023. Vol. 128. e2023JA031675. DOI: 10.1029/2023JA031675.

2.2.5.16. Контроль распределения УНЧ-волн плазмосферой при разных геомагнитных условиях

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

Магнитные бури и суббури вызывают глобальные возмущения в магнитосфере Земли. Облака плазмы, инжектированные из магнитного хвоста во время бури или суббури, дрейфуют вокруг Земли и генерируют ультранизкочастотные (УНЧ). В то же время внутренняя часть магнитосферы, называемая плазмосферой, заполнена холодными частицами и ее характеристики чувствительны к уровню геомагнитной активности. Предыдущие теоретические и некоторые наблюдательные исследования предполагали, что плазмосфера и ее граница плазмопауза являются особыми областями для взаимодействия УНЧ-волн с заряженными частицами. Мы представляем статистический анализ УНЧ-волн при различных геомагнитных условиях. Мы использовали измерения магнитного поля и концентрации электронов спутником Arase с марта 2017 по декабрь 2020 г. для изучения пространственного распределения УНЧ-волн и его зависимости от положения плазмопаузы. Был обнаружен зазор (1÷2)R_E между плазмопаузой и областью высокой частоты появления поперечных волн (рис. 2.2.5.16.1). Этот зазор сохраняется в спокойных геомагнитных условиях, когда плазмосфера расширяется, и мы заключили, что плазмопауза контролирует распределение УНЧ-волн в магнитосфере. Частота появления УНЧ-волн значительно уменьшается в спокойное время. Распределение средней частоты волны выявило характер альфвеновского резонанса у тороидальных волн, поскольку частота увеличивается к Земле. Распределения полоидальных и компрессионных волн отчетливо разделяют низкочастотные возбужденные извне волны и высокочастотные буревые пульсации.



Рис. 2.2.5.16.1. Зависимость частоты появления УНЧ-волн от MLT относительно положения плазмопаузы L_{PP} (пурпурная линия), определенного по модели New Solar Wind-driven Global Dynamic Plasmapause. Статистика (a, b) тороидальных, полоидальных (c, d) и компрессионных (e, f) волн в возмущенных (a, c u e) и (b, d u f) спокойных геомагнитных условиях

Публикация:

Rubtsov A.V., Nosé M., Matsuoka A., Kasahara Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Shinohara I., Miyoshi Y. Plasmasphere control of ULF wave distribution at different geomagnetic conditions // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2023. Vol. 128, e2023JA031675. DOI: 10.1029/2023JA031675.

2.2.5.17. Диагностика ионосферной проводимости на основе наблюдений магнитосферных УНЧ-волн космическими аппаратами

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

Двадцать седьмого октября 2012 г. с помощью зонда Van Allen Probe A была зарегистрирована альфвеновская волна диапазона Pc4. Продольный поток Пойнтинга этой волны, наблюдаемой в окрестности экватора, был направлен в сторону северной ионосферы, что нетипично для стоячей альфвеновской волны (рис. 2.2.5.17.1). Исходя из того, что это может быть вызвано асимметрией проводимости ионосферы между Северным и Южным полушариями, мы провели исследование влияния проводимости на стоячую структуру альфвеновской волны. Для этой цели была использована аналитическая модель с прямыми силовыми линиями магнитного поля. В результате был разработан метод оценки проводимости ионосфер Северного и Южного полушарий. Это позволяет восстанавливать продольную структуру альфвеновских волн при различной ионосферной проводимости. С помощью разработанного метода была оценена проводимость ионосферы для события 27 октября 2012 г. и проведено сравнение с результатами модели IRI-2016.



Рис. 2.2.5.17.1. Событие 27 октября 2012 г.: *а* — радиальная компонента магнитного поля волны (синяя кривая) и азимутальная компонента электрического поля волны (красная кривая); *b* — плотность энергии электрического поля (синяя кривая) и та же величина, усредненная по периоду волны (100 с) (желтая кривая); *c* — продольный поток Пойнтинга (зеленая кривая) и усредненный поток Пойнтинга по периоду волны (розовая кривая)

Публикация:

Smotrova E.E., Mager P.N., Mikhailova O.S., Klimushkin D.Yu. Diagnostics of the ionospheric conductivity based on spacecraft observations of the magnetospheric ULF waves // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2023. Vol. 128, e2023JA031441. DOI: 10.1029/2023JA031441.

2.2.5.18. Дисперсия и пространственная структура связанных альфвеновских и медленных магнитозвуковых мод 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. Петращук, к.ф.-м.н. Д.Ю. Климушкин, к.ф.-м.н. П.Н. Магер.

Проведен численный анализ дисперсии сцепленных альфвеновских и медленных магнитозвуковых (MM3) волн в дипольной модели магнитосферы. Рассмотрены несколько моделей магнитосферы, где двумя главными параметрами являются плазменное давление и его градиент. Предполагается, что ионосфера обладает идеальной проводимостью и высокой плотностью. Рассмотрена задача на собственные значения радиальной компоненты волнового вектора k_r . Для каждой фиксированной магнитной поверхности k_r является функцией частоты ω (рис. 2.2.5.18.1, слева). Проведено численное исследование всех компонент магнитного поля (рис. 2.2.5.18.1, справа). Установлено, что при некоторых плазменных параметрах компрессионная компонента магнитного поля в альфвеновской области распространения волны ($k_r>0$) характеризуется пиком в приэкваториальной части магнитосферы. У радиальной и азимутальной компонент имеются три узла: один на экваторе, а два — в районе средних широт магнитосферы.



Рис. 2.2.5.18.1. Зависимость k_r от ω (слева) и компонент магнитного поля (справа) альфвеновской волны от магнитной широты θ . Область распространения волны (область прозрачности) соответствует значениям $k_r>0$. На полоидальной поверхности собственное значение $k_r \rightarrow 0$ (вертикальная красная линия), вблизи тороидальной поверхности $k_r \rightarrow \infty$ (вертикальная синяя линия)

Публикация:

Petrashchuk A.V., Mager P.N., Klimushkin D.Yu. Dispersion and spatial structure of coupled Alfven and slow magnetosonic modes in the dipole magnetosphere // Phys. Plasmas. 2023. Vol. 30, 112904. DOI: 10.1063/5.0165125.

2.2.6. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля

2.2.6.1. Эффекты биполярных групп в модели динамо солнечных циклов 23 и 24 Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — В.В. Пипин¹, А.Г. Косовичев², В.Е. Томин¹.

1 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 2 — New Jersey Institute of Technology, NJ, USA

На основе 3-мерной модели паркеровского динамо среднего поля с использованием феноменологической картины появления активных областей (рис. 2.2.6.1.1, *b*) в виде наклонных биполярных групп (по базе NOAA) воспроизведены в общих чертах свойства солнечных циклов 23 и 24: а) эволюция радиального магнитного поля на поверхности (в виде широтно-временных диаграмм, рис. 2.2.6.1.1, *a*); б) затяжной минимум 23-го цикла (возможно, за счет падения среднего альфа-эффекта); в) общий (без учета знака) магнитный поток радиального магнитного поля на поверхности в цикле ~5·10²³ Мкс; д) широтно-временные вариации крутильных колебаний меридиональной циркуляции в циклах 23 и 24; е) степенные распределения площади и магнитного потока биполярных групп. Результаты показывают, что поверхностная активность в форме биполярных магнитных областей может играть существенную роль в общем динамо-процессе в конвективной зоне Солнца и влиять на силу солнечных циклов. Однако модель, основанная на данных солнечных наблюдений, показывает, что флуктуации наклона активных областей сами по себе не могут объяснить слабый 24-й цикл.



Рис. 2.2.6.1.1. Панель a — широтно-временные диаграммы эволюции радиального магнитного поля на поверхности (цвет), тороидального магнитного поля в верхней части конвективной зоны (контуры ± 1 кГс) и позиции появления биполярных групп (желтые значки); панель b — иллюстрация появления активной области, всплытие «бублика» магнитного поля: слева — конфигурация магнитных полей, справа — радиальное поле на поверхности

Публикация:

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 // Astrophys. J. 2023. Vol. 949, 7. DOI: 10.3847/1538-4357/acaf69.

2.2.6.2. Влияние взрывных процессов в активных областях на колебания параметров магнитного поля в тени солнечных пятен

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

Для трех событий исследовано влияние взрывных процессов (ВП) в активных областях (AO) на характер колебаний магнитного поля в тени солнечных пятен. ВП включают в себя солнечные вспышки и корональные выбросы массы (КВМ). Построены спектры мощности колебаний каждого анализируемого параметра магнитного поля (МП) в каждом пятне исследуемой AO и для AO в целом (рис. 2.2.6.2.1). Обнаружено, что на определенных этапах ВП оказывает заметное влияние на спектр мощности колебаний параметров магнитного поля в тени пятен. Показано, что на особенности колебаний магнитного поля в тени пятен влияет мощность ВП, характеризуемая рентгеновским баллом вспышки. Полученные результаты для событий с ВП сравниваются с результатами для AO без ВП. Анализ влияния ВП на колебания магнитного поля в тени пятен проводился как для AO в целом, так и для отдельных пятен с наиболее сильным откликом на ВП. Для разных событий сравнивались спектр мощности колебаний, максимум интенсивности A_{max} , частота f_m , на которую приходится максимум A_{max} , и ширина спектра мощности по частоте df (рис. 2.2.6.2.2).



Рис. 2.2.6.2.1. Усредненные по пятнам АО спектры мощности колебаний минимального угла наклона α_{\min} силовых линий МП к положительной нормали к поверхности Солнца в тени солнечных пятен для событий 06.09.2017 (*a*), 07.03.2012 (*b*), 04.08.2011 (*c*) и события без взрывных процессов 28.10.2017 (*d*); *е*–*h*— то же, что на *a*—*d*, но для максимального значения магнитной индукции B_{\max} в тени солнечных пятен



Рис. 2.2.6.2.2. Зависимость от интенсивности излучения в мягком рентгеновском диапазоне максимума спектра мощности A_{max} (*a*-*d*), ширины спектра мощности *df* (*e*, *f*) и частоты максимальной интенсивности спектра мощности $f_{\text{m}}(g, h)$

Публикация:

Zagainova Yu.S., Fainshtein V.G. The influence of eruptive processes in active regions on oscillations of the magnetic field parameters in sunspot umbrae // Geomagnetism and Aeronomy. 2023. Vol. 63, no. 7. P. 37–47. DOI: 10.1134/S0016793223070290.

2.2.6.3. Мониторинг параметров магнитосферы по эффектам в космических лучах в августе 2018 г.

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — И.И. Ковалев, д.ф.-м.н. С.В. Олемской, к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов.

По наземным наблюдениям космических лучей (КЛ) на мировой сети станций, а также на Якутском комплексе мюонных телескопов и мюоном годоскопе УРАГАН в период геомагнитной бури в конце августа 2018 г. методом спектрографической глобальной съемки рассчитаны изменения планетарной системы жесткостей геомагнитного обрезания (ЖГО). На основе полученных результатов в рамках осесимметричной модели ограниченной магнитосферы рассчитаны параметры кольцевого тока и токов на магнитопаузе, вклад кольцевого тока в изменения ЖГО, а также оценены вклады кольцевого тока и токов на магнитопаузе в величину *Dst*-индекса геомагнитной активности на разных фазах события (рис. 2.2.6.3.1). Показано, что на начальной фазе радиус кольцевого тока достиг (здесь и далее величины оценочные) 4.7 радиусов Земли, сила кольцевого тока — $11.9 \cdot 10^6$ А. Рас-
стояние до подсолнечной точки составляло 9.1 радиусов Земли, сила тока на магнитопаузе — $3.19 \cdot 10^6$ А. Вклад кольцевого тока в *Dst*-индекс составил –148 нТл, вклад токов на магнитопаузе — 100 нТл. На фазе максимальной модуляции кольцевой ток усилился до $25.6 \cdot 10^6$ А, ток на магнитопаузе — до $10.6 \cdot 10^6$ А, подсолнечная точка сместилась до 7 радиусов Земли. Вклад кольцевого тока в *Dst*-индекс составил –477 нТл, вклад токов на магнитопаузе — 281 нТл. На фазе восстановления радиус кольцевого тока достиг 4.9 радиусов Земли, расстояние до подсолнечной точки — 8.8 радиусов Земли. Силы кольцевого тока и тока на магнитопаузе уменьшились до 14.0 $\cdot 10^6$ и $4.35 \cdot 10^6$ А соответственно. Вклад кольцевого тока в *Dst*-индекс составил –203 нТл, вклад токов на магнитопаузе — 123 нТл.



Рис. 2.2.6.3.1. Зависимость изменения ЖГО от ЖГО на начальной фазе (*a*), в момент максимальной модуляции (*б*) и на фазе восстановления (*в*) в течение магнитной бури в августе 2018 г.: черная линия — результаты, полученные по данным наземных наблюдений КЛ методом СГС; красная линия — результаты расчетов по осесимметричной модели ограниченной магнитосферы; синяя линия — вклад в изменение ЖГО кольцевого тока, рассчитанного по осесимметричной модели магнитосферы. Указаны дата, радиус кольцевого тока (r_c), радиус тока на магнитопаузе (r_m), наблюдаемый (Dst_{obs}) и расчетный (Dst_{calc}) Dst-индекс

Публикация:

Ковалев И.И., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Мониторинг параметров магнитосферы по эффектам в космических лучах в августе 2018 года// Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 3. С. 24–27. DOI: 10.12737/szf-93202303.

2.2.6.4. Качество операционных и эмпирических ионосферных моделей: ошибки полного электронного содержания и точность позиционирования

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — д.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич¹, Д.А. Затолокин¹, к.ф.-м.н. А.М. Падохин^{2,3}, PhD N. Wang⁴, PhD B. Nava⁵, PhD Z. Li⁴, Prof. Y. Yuan⁶, к.ф.-м.н. А.С. Ясюкевич¹, С. Chen², А.М. Веснин¹.

1 - ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия; 2 - ИЗМИРАН, Москва, Россия; 3 - МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия; 4 - Aerospace Information Research Institute CAS, Beijing, China; 5 - The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy; 6 - Innovation Academy for Precision Measurement Science and Technology CAS, Wuhan, China

Проведено тестирование девяти ионосферных моделей, в том числе четырех операционных моделей, использующихся в глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС): Klobuchar (GPS), BDGIM (BeiDou), NeQuickG (Galileo), модель ГЛОНАСС без вещаемых коэффициентов модели, а также пяти эмпирических моделей: IRI-2016, IRI-2012, IRI-Plas, NeQuick2, GEMTEC. Сравнение осуществлялось по двум метрикам — полному электронному содержанию (ПЭС) и точности одночастотного позиционирования. Использовались данные 13 ГНСС станций за 2000-2020 гг. Более детальное сравнение проводилось на данных 2014-2020 гг. По отношению к решению без коррекции улучшение точности позиционирования в среднем было следующее (рис. 2.2.6.4.1): глобальные ионосферные карты GIM IGSG — 22.0 %, BDGIM — 15.3 %, NeQuick2 — 13.8 %, GEMTEC — 13.3 %, NeQuickG и IRI-2016 — 13.3 %, Klobuchar — 13.2 %, IRI-2012 — 11.6 %, IRI-Plas — 8.0 %, GLONASS — 7.3 %. Систематическая ошибка и средняя абсолютная ошибка ПЭС для моделей составили соответственно: GEMTEC — -0.3 и 2.4 TECU, BDGIM — -0.7 и 2.9 TECU, NeOuick2 — -1.2 и 3.5 TECU, IRI-2012 — -1.5 и 3.2 TECU, NeQuickG — -1.5 и 3.5 ТЕСИ, IRI-2016 — -1.8 и 3.2 ТЕСИ, Klobuchar — 1.2 и 4.9 ТЕСИ, GLONASS — -1.9 и 4.8 ТЕСИ, IRI-Plas — 3.1 и 4.2 ТЕСИ. Отмечено, что современные операционные модели могут превосходить по точности классические эмпирические модели.



Рис. 2.2.6.4.1. Сравнение точности ионосферных моделей по двум метрикам — средней абсолютной остаточной ионосферной ошибке (красные гистограммы) и улучшению точности позиционирования (зеленые гистограммы)

Публикация:

Yasyukevich Y., Zatolokin D., Padokhin A., Wang N., Nava B., Li Z., Yuan Y., Yasyukevich A., Chen C., Vesnin A. Klobuchar, NeQuickG, BDGIM, GLONASS, IRI-2016, IRI-2012, IRI-Plas, NeQuick2, and GEMTEC ionospheric models: A comparison in Total Electron Content and Positioning Domains // Sensors. 2023. Vol. 23, 4773. DOI: 10.3390/s23104773.

2.2.6.5. Взаимосвязь солнечного излучения различных диапазонов и ионосферных индексов

Проект «Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля». Руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич. Авторы результата — к.т.н. М.А. Сергеева^{1, 2}, д.ф.-м.н. О.А. Мальцева³, А.М. Веснин⁴, д.ф.-м.н. Д.В. Благовещенский⁵, V.J. Gatica-Acevedo¹, J.A. Gonzalez-Esparza¹, к.т.н. А.Г. Чернов⁶, I.D. Orrala-Legorreta¹, A. Melgarejo-Morales¹, L.X. Gonzalez¹, M. Rodriguez-Martinez⁷, E. Aguilar-Rodriguez¹, E. Andrade-Mascote¹, P. Villanueva¹.

1 — SCIESMEX, Michoacan Mexico; 2 — CONACYT, Michoacan Mexico; 3 — СФУ, Ростов-на-Дону, Россия; 4 — ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия, 5 — СПб ГУАП, Санкт-Петербург, Россия; 6 — Sitcomm LLC, Йошкар-Ола, Россия; 7 — Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico City, Mexico

Проведен анализ чувствительности различных данных, полученных на основе полного электронного содержания (ПЭС), на примере ионосферных эффектов для двух солнечных вспышек (рис. 2.2.6.1.5.1). Для оценки вспышки использовалась мощность излучения в различных диапазонах. В качестве ионосферных данных использовались индекс *ROTI* и вариации ПЭС, отфильтрованные с периодами 2–10 и 10–20 мин. Показано, что разные ионосферные данные имеют наибольшие коэффициенты корреляции (табл. 2.2.6.5.1) с разными диапазонами излучения.



Рис. 2.2.6.5.1. Динамика ионосферного ПЭС с периодами 2–10 мин (голубая кривая) и 10–20 мин (синяя кривая), а также индекса *ROTI* (серая кривая) в сравнении с динамикой солнечного излучения (обозначения приведены справа от панелей) для вспышек X1.3 30 марта 2022 г. (слева) и M9.6 31 марта 2022 г. (справа)

r (17:20–17:46 UT)	EUV 25.6 nm	EUV 28.4 nm	EUV 30.4 nm	EUV 117.5 nm	EUV 121.6 nm	EUV 133.5 nm	EUV 140.5 nm	X (0.05–0.4) nm	X (0.1–0.8) nm
dI(2-10)	0.60	0.39	0.63	0.65	0.59	0.60	0.58	0.64	0.58
dI(10-20)	0.93	0.74	0.87	0.71	0.84	0.70	0.51	0.93	0.93
ROTI	0.51	0.17	0.68	0.92	0.63	0.90	0.95	0.54	0.43

Таблица 2.2.6.5.1. Коэффициенты корреляции вариаций ПЭС с периодами 2–10 и 10–20 мин, индекса *ROTI* с солнечным излучением в различных диапазонах

Публикация:

Sergeeva M.A., Maltseva O.A., Vesnin A.M., Blagoveshchensky D.V., Gatica-Acevedo V.J., Gonzalez-Esparza J.A., Chernov A.G., Orrala-Legorreta I.D., Melgarejo-Morales A., Gonzalez L.X., Rodriguez-Martinez M., Aguilar-Rodriguez E., Andrade-Mascote E., Villanueva P. Solar flare effects observed over Mexico during 30–31 March 2022 // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, 397. DOI: 10.3390/rs15020397.

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 технологии изготовления электрооптических модуляторов для наблюдений солнечных магнитных полей

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

Электрооптический модулятор (ЭОМ) в сочетании с другими поляризационными элементами используется для эффективного анализа состояния поляризации (параметров Стокса) излучения при измерениях магнитных полей на Солнце. Для поляриметрических измерений нужны как длительные выдержки с высокой кругизной временного фронта, так и высокая частота получения кадров.

В ИСЗФ с использованием электрооптических кристаллов DKDP разрабатываются ЭОМ (рис. 2.3.1.1.1), удовлетворяющие этим требованиям. Модулирующее напряжение подводится через токопроводящие прозрачные покрытия оксида индия-олова (ITO), нанесенные непосредственно на рабочие поверхности электрооптического кристалла, а не на поверхности приклеенных защитных стекол. Нанесение электродов непосредственно на поверхность кристалла устраняет эффект поляризации в слое клея, уменьшающий и искажающий управляющее напряжение, что позволяет вести поляризационные измерения при любой форме управляющих напряжений (синусоидальной или прямоугольной).

При длительной эксплуатации модулятора под воздействием вибраций электрооптического кристалла от пьезоэффекта и нагревания в солнечном пучке аморфная пленка ITO может частично кристаллизоваться, повторяя структуру кристалла DKDP,что приводит к появлению рассеянного света.

Для предупреждения кристаллизации ITO на поверхности DKDP перед нанесением токопроводящего покрытия наносится защитная аморфная пленка оксида ниобия (Nb_2O_5), с параметрами атомной решетки, существенно отличающимися от параметров кристаллической решетки DKDP. Стабильное покрытие из оксида ниобия не только предотвращает повреждение электрооптического кристалла под воздействием внешних факторов, но и может быть компонентом просветляющего покрытия.

Защитное покрытие оксида ниобия и токопроводящее покрытие ITO наносятся в вакуумной установке магнетронным распылением при комнатной температуре, при которой не происходит разрушение кристалла. Управляющее напряжение подключают к токопроводящим прозрачным покрытиям электрооптического кристалла по всему периметру покрытия через контактные кольца, присоединенные индием диффузионно под давлением. При кольцевом способе подведения напряжения контакты выдерживают значительную величину токов, возникающих при использовании управляющих напряжений с высокой крутизной фронтов. Рабочие поверхности электрооптического кристалла защищают от воздействия внешней атмосферы оптическими окнами, которые устанавливают на иммерсии внутри контактных колец. ЭОМ герметизируют в оправе. При высоком управляющем напряжении параметры модулятора допускают его эксплуатацию в различных условиях обсерваторий.



Рис. 2.3.1.1.1. Электрооптический модулятор

Предложен и испытан макет станка для двусторонней оптической обработки, на котором можно изготавливать с высокой точностью элементы интерференционнополяризационного фильтра (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 телескопекоронографе (КСТ-3).

Публикация:

Токарева Л.С., Скоморовский В.И., Кушталь Г.И. Электрооптические модуляторы ИСЗФ для наблюдений магнитных полей на Солнце // Изв. КрАО. (В печати).

2.3.1.2. Различия в прогнозе скорости солнечного ветра, вызванные использованием синоптических карт различных обсерваторий

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Авторы результата — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов¹, Й. Ханаока², С.Ф. Ван³, инж.-прогр. 1 кат. П.Н. Киричков¹.

1 — Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия; 2 — Solar Science Laboratory, National Astronomical Observatory of Japan, Tokyo, Japan; 3 — Key Laboratory of Solar Activity, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.

Результаты модельных расчетов параметров космической погоды в значительной степени зависят от исходных данных, каковыми являются синоптические карты магнитных полей на Солнце. Для прогнозирования скорости солнечного ветра на орбите Земли на примере кэррингтоновского оборота CR 2164 мы использовали синоптические карты не только известных источников (WSO, GONG), но и новых — инфракрасного магнитографа IRmag Национальной астрономической обсерватории Японии и Солнечного телескопа оперативных прогнозов Саянской солнечной обсерватории (СТОП ССО). Наши расчеты основаны на модели Ванга — Шили — Арджи (WSA) и включают определение параметров коронального магнитного поля в приближении поверхности источника с потенциальным полем (PFSS). Скорость квазистационарного солнечного ветра вблизи Солнца рассчитывается с использованием эмпирического уравнения, учитывающего коэффициент расширения магнитной трубки и расстояние основания силовой трубки от ближайшей границы корональной дыры на фотосферном уровне. Скорость солнечного ветра на орбите Земли рассчитывается по модели HUX (Heliospheric Upwind eXtrapolation). Показано, что расхождения в значениях скорости при использовании четырех рассмотренных наборов данных могут достигать ≈ 200 км/с, что весьма существенно. При сравнении расчетных значений скорости (рис. 2.3.1.2.1) с эмпирическими данными спутника АСЕ показано, что лучшее совпадение достигается при особом учете напряженности магнитного поля в соответствующих корональных дырах.



Рис. 2.3.1.2.1. Диаграммы Тейлора для количественной оценки степени соответствия между рассчитанной и наблюдаемой скоростями солнечного ветра на орбите Земли: левая панель — сопоставление без коррекции за магнитное поле; правая панель — сопоставление при расчетах с поправкой на напряженность магнитного поля в соответствующих корональных дырах

Публикация:

Demidov M.L., Hanaoka Y., Wang X.F., Kirichkov P.N. On the differences in the ambient solar wind speed forecasting caused by using synoptic maps from different observatories // Solar Phys. 2023. Vol. 298, 120, 14 p. DOI: 10.1007/s11207-023-02206-6.

2.3.1.3. Механизм нагрева плазмы эруптивного протуберанца, выявленного по микроволновым наблюдениям на Сибирском радиогелиографе

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

Понимание механизмов нагрева плазмы солнечной короны и природы солнечного ветра важно в контексте космической погоды и для освоения космоса. Прежние попытки экспериментального выяснения механизма нагрева корональной плазмы опирались либо на концепцию теплового баланса статической короны в присутствии стационарных волновых движений, либо на анализ теплового баланса нестационарных явлений — таких, как корональные выбросы массы. В последнем случае анализировались лишь данные в ультрафиолетовом излучении. Эти попытки не позволили выяснить механизм нагрева. В данном исследовании радиометодом впервые определен главный механизм нагрева низкотемпературного компонента корональной плазмы активных протуберанцев.

Исследована крупная эруптивная вспышка, произошедшая 12 января 2022 г. на обратной стороне Солнца (N32E116). Эрупция протуберанца наблюдалась телескопами в крайнем ультрафиолете и многочастотным Сибирским радиогелиографом (СРГ) в диапазоне 5.8–11.8 ГГц (рис. 2.3.1.3.1). Показано, как спад яркостной температуры эруптивного протуберанца на микроволновых изображениях связан с притоком или оттоком тепла в его теле при быстром расширении и незначительном изменении ионизационного состояния плазмы. Измерения по данным СРГ привели к выводу о нагреве протуберанца. Вероятный источник нагрева в этом событии — омическая диссипация электрических токов, являющихся главным фактором магнитогидродинамической неустойчивости всей эруптивной структуры. При этом ожидаемый показатель политропы расширяющейся плазмы наиболее близок к измеренному, а эффективность омической диссипации из-за электрон-протонных столкновений снижается при расширении намного медленнее, чем при других механизмах нагрева или охлаждения.



Рис. 2.3.1.3.1. Изображения эруптивного протуберанца, полученные с помощью СРГ на частоте 11.8 ГГц. Поле зрения изменяется для компенсации расширения. Контурами обведены области 1 и 2, где измерялись средние яркостные температуры по изображениям СРГ. Внизу справа указаны расстояния от центров областей 1 и 2 до центра расширения. Толстая дуга — оптический лимб

Публикация:

Uralov A.M., Grechnev V.V., Lesovoi S.V., Globa M.V. Plasma heating in an erupting prominence detected from microwave observations with the Siberian Radioheliograph // Solar Phys. 2023. Vol. 298, iss.10, article id. 117. DOI: 10.1007/s11207-023-02210-w.

2.3.1.4. Модель нейронной сети для оценки полной ширины функции размытия точки на ее полувысоте в приложении к Крупному солнечному телескопу

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

С целью определения характеристик систем формирования астрономических изображений через турбулентную атмосферу Земли развит нейросетевой подход к оценке полной ширины функции размытия точки на ее полувысоте (*FWHM*) в приложении к Крупному солнечному телескопу. С применением глубоких нейронных сетей выполнено моделирование вариаций *FWHM* и сравнение их с измеренными на территории Саянской солнечной обсерватории (Еселевич М.В.) с помощью дифференциального монитора дрожания изображений в период с февраля 2012 г. по июль 2015 г. Распределение *FWHM* и изменения модельных и измеренных значений показаны на рис. 2.3.1.4.1 и 2.3.1.4.2 соответственно.



Рис. 2.3.1.4.1. Распределение значений FWHM для КСТ-3



Рис. 2.3.1.4.2. Изменения измеренных (кривая 1) и модельных (кривая 2) значений *FWHM* для КСТ-3

По результатам исследований разработана модель нейронной сети для оценки вариаций *FWHM*. Показано, что на *FWHM* в месте расположения КСТ-3 в большей степени влияют компоненты скорости ветра на разных высотах в атмосфере и завихренности атмосферных течений вблизи земной поверхности, а также в окрестностях крупномасштабного струйного течения (под тропопаузой, на высотах 10–12 км). Разработанный метод оценки параметров турбулентности и вариаций *FWHM* вносит вклад в совершенствование отдельных направлений наблюдательной астрономии и позволяет развивать системы адаптивной оптики, планировать наблюдательное время.

Публикация:

Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Kiselev A.V., Eselevich M.V., Lukin V.P. Application of neural networks to estimation and prediction of seeing at the Large Solar Telescope site // Publ. of the Astronom. Soc. of the Pacific. 2023. Vol. 135, 014503. DOI: 10.1088/1538-3873/acb384.

2.3.1.5. Определение допустимых ошибок юстировки предфокального корректора главного зеркала АЗТ-14 и разработка методов контроля в условиях обсерватории

Проект «Методы и инструменты астрофизического эксперимента». Руководители — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов и к.ф.-м.н. С.В. Лесовой. Автор результата — к.т.н. Чупраков С.А.

Светосильные широкоугольные зеркально-линзовые системы используются в ССО для решения обзорных и астрометрических задач. Для достижения высокого качества изображения на всем поле зрения (более 2°) система должна быть тщательно отъюстирована. Как правило, юстировка линзового блока должна быть проведена в лаборатории, но окончательная юстировка при сборке системы проводится только в условиях обсерватории.

С помощью созданной модели оптической системы главного зеркала A3T-14 с предфокальным корректором астигматизма типа Винне были рассчитаны предельно допустимые значения ошибок положения фокальной плоскости системы, параллельного смещения оси корректора относительно оси зеркала и поворота корректора относительно вершины первой рабочей поверхности. В модели рассчитывалась карта СКО волнового фронта после внесения ошибок и последующей перефокусировки для баланса аберраций по полю фотоприемника размером 1.2°×1.2°. Полученные значения приведены в табл. 2.3.1.5.1.

Таблица 2.3.1.5.1

Положение фокальной плоскости, мм	+1.2/-0.95
Параллельное смещение осей, мм	±0.925
Угол между осями при повороте вокруг верши-	0.152
ны	
первой поверхности, град.	

С использованием разработанной методики главное зеркало после обновления отражающего покрытия было смонтировано в оправу с точным (до 0.1 мм) механическим контролем его положения относительно базовых поверхностей, прибор проверки соосности (ППС), после выставления маркера оси объектива методом автоколлимации, был также смонтирован в центральном отверстии зеркала.

На втором этапе положение корректора относительно оси ППС было проконтролировано и скорректировано с помощью диафрагмы малого диаметра на передней части оправы корректора. На третьем этапе наклон корректора контролировался и регулировался с помощью диафрагмы на полевой части корректора. Плоскость фотоприемника была установлена на расстоянии расчетного рабочего отрезка, и был разработан и изготовлен блок юстировки корректора и фотоприемника как целого относительно главного зеркала.

После юстировки качество изображения по полю зрения заметно улучшилось. Наблюдавшийся ранее несимметричный астигматизм на краю поля зрения отсутствует. Измерения параметра *FWHM* изображений звезд показывают в среднем двукратное улучшение на краю поля зрения. На всем поле зрения, вплоть до $\omega = 0.85^{\circ}$ (максимальное расстояние от центра поля зрения по диагонали фотоприемника), проявляются дифракционные эффекты от растяжек вторичного зеркала (спайдеров) в виде характерных «лучей», что свидетельствует о качественной коррекции аберраций в широком спектральном диапазоне.

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





Байкальская астрофизическая обсерватория (БАО) расположена в п. Листвянка в 70 км от Иркутска. Основным инструментом БАО является единственный в России Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ) (рис. 3.1.1), входящий в перечень уникальных установок Российской Федерации (рег. номер 01-29). Кроме того, в БАО имеются три хромосферных телескопа, оборудованных интерференционнополяризационными филь-трами (ИПФ) на диагностически важные линии Нα и К СаII (656.3 и 393.4 нм), а также Солнечный телескоп опера-

тивных 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 продолжаются пусконаладочные мероприятия.

Основные задачи обсерватории — мониторинг солнечной активности и проблемноориентированные спектральные, спектрополяриметрические и фильтровые наблюдения нестационарных процессов в солнечной атмосфере с целью исследования механизмов их возникновения.

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

На протяжении 2023 г. проводились работы по модернизации аппаратуры БСВТ, разработке и совершенствованию методов наблюдений:

• Настройка элементов адаптивной оптики БСВТ, а также работы с тип/тилткорректором фазовых искажений (Киселев А.В., Русских И.В., Колобов Д.Ю., Чупраков С.А., группа ИОА СО РАН под руководством Борзилова А.Г.).

• Настройка датчика Шака — Гартмана макета системы адаптивной оптики БСВТ, а также измерения искажений волновых фронтов по наблюдениям солнечных пятен (Киселев А.В., Русских И.В., Колобов Д.Ю., Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г.). На рис. 3.1.2. показан результат измерения среднеквадратичной ошибки (СКО) волнового фронта на длине волны 535 нм с помощью датчика Шака — Гартмана.



Рис. 3.1.2. Результат измерения СКО волнового фронта на длине волны 535 нм, полученный с помощью Шака — Гартмана по наблюдениям на БСВТ

• Измерения астроклиматических характеристик, включая микрометеорологические характеристики на двух высотах: вблизи зеркала сидеростата БСВТ и в приземном слое на высоте 4 м.

• Регулярные наблюдения (под руководством Боровика А.В.) хромосферы Солнца (полный диск) в линиях Нα и К СаII 656.3 и 393.4 нм (рис. 3.1.3) (А.А. Жданов, А.В. Овчаров, А.А. Головко). В линии Нα с июня по октябрь общая продолжительность наблюдений составила 50 дней, получено 5912 изображений полного диска (порядка 197 ч). Наблюдения полного диска Солнца на хромосферном телескопе в линии К СаII проводились с января по ноябрь в течение 82 дней (768 изображений).



Рис. 3.1.3. Примеры изображений полного диска хромосферы Солнца в линиях На 656.3 нм 17.08.2023 в 10:00 LT (слева) и К CaII 393.4 нм 20.10.2023 в 11:32 LT

Экспериментальные работы в обсерватории проводили и другие институты СО РАН: Институт оптики атмосферы (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 на территории Тункинского района Бурятии (Россия) в районе поселка Монды на высоте 2000 м в 320 км от Иркутска.

Основные задачи обсерватории — исследования Солнца, звезд и космического пространства, а также мониторинг и изучение околоземного космического пространства, включая наблюдение искусственных спутников Земли и космического мусора. Кроме этого, ведется 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-ЗЗИК выполнены наблюдения площадок космических гаммавсплесков (GRB) с целью обнаружения и измерения послесвечения в оптическом диапазоне. С января по ноябрь 2023 г. наблюдались площадки объектов: AT2023avj, AT2023azs, AT2023jxk, AT2023lcr, AT2023qxj, AT2023rkw, AT2023sva, GRB 220306B, GRB 230204B, GRB 230216A, GRB 230228A, GRB 230328B, GRB 230409B, GRB 230414B, GRB 230420A, GRB 230506C, GRB 230606A, GRB 230618A, GRB 230723B, GRB 230812B, GRB 230818A, GRB 230826A, GRB 231017A, GRB 231104A, GRB 231111A, GRB 231117A, SN2023ixf. По результатам измерений опубликованы циркуляры GCN (Gamma-Ray Coordination Network): 33239, 33373, 33383, 33528, 33530, 33608, 33615, 33617, 33725, 34047, 34567, 34867, 34994.

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

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

Для получения измерительной информации, необходимой для уточнения параметров траектории движения КА «Спектр-РГ», находящегося на гало-орбите в окрестности точки L2 системы Солнце — Земля, на телескопе АЗТ-ЗЗИК проводились регулярные астрометрические измерения КА «Спектр-РГ» (международный идентификатор 2019-040А). С ноября 2022 по октябрь 2023 г. в течение 126 наблюдательных ночей было получено 3593 измерений положения КА.

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

В рамках программы по информационному обеспечению автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП) на телескопах АЗТ-ЗЗИК и АЗТ-ЗЗВМ с ноября 2022 по октябрь 2023 г. проводились регулярные наблюдения искусственных космических объектов и космического мусора.

На телескопе A3T-33BM в течение 249 наблюдательных ночей получена измерительная информация, включающая

• астрометрические измерения потенциально опасных сближений (264 пары сближающихся объектов, 890 серий измерений);

• астрометрические измерения КО для уточнения предварительных орбит;

• наблюдения в области высокоапогейных орбит с целью обнаружения и каталогизации малоразмерных объектов космического мусора.

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

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

На Солнечном телескопе оперативных прогнозов (СТОП) выполнялись наблюдения крупномасштабных (фоновых) магнитных полей (КМП) и общего магнитного поля (ОМП) Солнца как звезды. Данные наблюдений актуальны для исследования глобального магне-

тизма Солнца и космической погоды. Количество измерений КМП — 98, количество измерений ОМП — 316. Общее количество наблюдательных дней — 112.

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

Данные наблюдений космических лучей и атмосферного давления с минутным и часовым интервалами накоплений находятся 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. Данные наблюдений представлены на сайтах http://cgm.iszf.irk.ru/, http://www.nmdb.eu. По данным наблюдений опубликовано 8 статей.

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

	Спектрали и је лиции	Количество серий наблюдений						
Объект наолюдения	Спектральные линии	март	июнь	июль	август	сентябрь	Итого	
Волокно	Hβ 4861 + Fe 4859	9	7	3	-	-	19	
Факел	Ha 6563 + He 10830	_	—	-	_	18	18	
Пятно	Ha 6563 + He 10830	-	—	-	I	11	11	

За год сделано 48 временных серий продолжительностью от 25 до 180 мин (в среднем 78 мин).

Совместно с сотрудниками АКЦ ФИАН и САО РАН были установлены приборы для регистрации влажности воздуха с целью размещения телескопа субТГц-диапазона (радиометра МИАП-2). Также совместно с работниками Института оптики атмосферы СО РАН была проведена установка глобальной навигационной системы.

В ССО работали сотрудники ИОА СО РАН (Томск), ФИАН РАН (Москва). 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 Тункинском районе Республики Бурятии. Основными инструментами 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 3–6, 6–12 и 12–24 ГГц, позволяющих получать двумерные радиоизображения Солнца в левой и правой круговых поляризациях в течение всего светового дня круглый год (рис. 3.3.2).

Время накопления, количество частотных каналов, а соответственно, и чувствительность — переменные параметры, определяемые научной задачей. Основные параметры ССРТ приведены в таблице.

I .	1
Общий диапазон рабочих частот	3-24 ГГц
Мгновенная полоса частот	10 МГц
Угловое разрешение	4–22 угл. сек
Чувствительность по компактным источникам	до 0.01 с.е.п.
Поляризация	обе круговые

Основные параметры ССРТ



Рис. 3.3.2. Радиоизображение Солнца, полученное на радиогелиографе на частоте 6 ГГц

К концу 2023 г. в РАО завершены настройка и доведение до проектных характеристик систем СРГ. Радиогелиограф и комплекс малых инструментов введены в режим регулярных наблюдений. Организован ресурс для доступа пользователей к исходным микроволновым данным (https://ftp.rao.istp.ac.ru/). Разработан комплекс программного обеспечения для онлайн-построения изображений с использованием Common Astronomy Software Applications (CASA).

Сданы в эксплуатацию все объекты бытовой инфраструктуры: технический корпус, четыре общежития для временного проживания сотрудников, трансформаторная подстанция, дизель-генераторная установка (рис. 3.3.3, 3.3.4).



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



Рис. 3.3.4. Технический корпус для ремонта и обслуживания оборудования РАО

Общий штат сотрудников обсерватории составляет 40 чел., из них научнотехнический персонал — 19.

3.4. Геофизическая обсерватория

Геофизическая обсерватория (рис. 3.4.1) расположена на расстоянии 150 км от Иркутска в Республике Бурятия вблизи с. Торы (103° E, 51° 42` N, высота над уровнем моря 530 м).



Рис. 3.4.1. Геофизическая обсерватория. Технический и административно-хозяйственный корпуса

Экспериментальная база ГФО включает в себя следующее оборудование:

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

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

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

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

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

• Сканирующий интерферометр Фабри — Перо КЕО Arinae для измерения температуры и скорости ветра на высотах высвечивания эмиссий (2 ед.).

• Широкоугольная оптическая система КЕО Sentry-4 регистрации пространственной картины интенсивности эмиссии (2 ед.).

• Двухканальный фотометр KEO Arges-VF для исследования быстрых вариаций интенсивностей основных эмиссий в диапазонах 557.7, 630.0, 427.8, 843.0 нм (2 ед.).

• Спектрограф видимого диапазона КЕО Spectrograph::VISIBLE для регистрации спектрального состава излучения ночного неба в диапазоне 400–1000 нм.

• Спектрограф инфракрасного диапазона КЕО Spectrograph::INFRARED для регистрации спектрального состава излучения ночного неба в диапазоне 950–1650 нм.

• Инфразвуковая станция для выделения акустических сигналов инфразвукового диапазона в атмосфере Земли.

• Цифровое многоканальное приемно-передающие устройство, позволяющее работать в режимах ЛЧМ (вертикальное, наклонное, возвратно-наклонное зондирование) и фиксированных частот (доплеровские измерения). Набор антенно-фидерных устройств позволяет работать в КВ- и УКВ-диапазонах.

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

Проводился мониторинг инфразвуковых сигналов с помощью трехпозиционной станции, оснащенной микробарографами. Совместно с сотрудниками ИОА СО РАН проведены измерения инфразвукового и ветрового полей.

Проводились непрерывные наблюдения на многофункциональном цифровом ионозонде вертикального и наклонного зондирования ионосферы («Ионозонд-МС») непрерывным ЛЧМ-сигналом. Были получены данные с радиотрасс Норильск — Торы, Магадан — Торы, Кипр — Торы. С сентября 2023 г. начаты наблюдения на трассе Новосибирск — Торы. Установлена и введена в эксплуатацию антенна типа «наклонная дельта» для трассы Норильск — Торы. Были получены данные слабонаклонного зондирования на трассе Усолье — Торы. Проведена первичная обработка полученных данных и пополнен архив данных.

Данные наблюдений передаются 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 течение года в обсерватории проводились экскурсии для школьников, студентов ИГУ и учителей школы «Точка будущего».



Рис. 3.4.1. Во время осмотра обсерватории

В июле обсерваторию с визитом посетили Министр науки и высшего образования РФ Фальков В.Н. и директор Объединенного института ядерных исследований акад. РАН Трубников Г.В. (рис. 3.4.1).

3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы

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

Основные задачи обсерватории

• Регулярные наблюдения вариаций параметров ионосферы для разных времен суток, сезонов, уровней солнечной и геомагнитной активности;

• Наблюдение мощных когерентных отражений во время геомагнитных возмущений;

• Наблюдение распространения волновых возмущений, приходящих из полярной области ионосферы;

• Наблюдение звездных радиоисточников в пассивном режиме;

• Наблюдение космических объектов, контроль окружающего космического пространства;

• Обслуживание и модернизация научного оборудования.

Экспериментальная база ОРДА включает следующее научное оборудование:

• Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР). Общий вид ИРНР показан на

рис. 3.5.1. Радар входит в перечень уникальных установок национальной значимости (рег. № 01-28), информация представлена в разделе «Уникальная установка Иркутский радар некогерентного рассеяния», http://ckp-rf.ru/usu/77733/.

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



Рис. 3.5.1. Общий вид ИРНР

В 2023 г. на научном оборудовании ОРДА наряду с регулярными наблюдениями вариаций параметров ионосферы для разных времен суток, сезонов и уровней геомагнитной активности проводился ряд экспериментов 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);

• Эксперименты с формированием длинных кодовых последовательностей ФМ-сигналов;

- Измерения с использованием новой системы калибровки приемного тракта;
- Накопление статистики при работе системы синхронизации ИРНР–РЛК.

В 2023 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры и программного обеспечения (ПО) ИРНР:

- Формирование длинных кодов ФМ (до 51 элемента);
- Разработка тестового образца системы калибровки приемного тракта;
- Разработка и отладка нового блока формирования опорных частот;
- Ввод в эксплуатацию высокоскоростной канал связи обсерватории;
- Доработка ПО обработки ионосферной информации в режиме реального времени;
- Доработка ПО обработки спутниковой информации в режиме реального времени.

Общее время наблюдений в активном режиме составило ~61 сут, остальное время наблюдения велись в пассивном режиме.

На передающем пункте ЛЧМ-ионозонда выполнена работа по профилактике передающих устройств и изменен режим работы ЛЧМ-ионозонда. Для радиотрассы Усолье — Торы увеличен диапазон рабочих частот с 12 до 14 МГц. Общее время работы передающего пункта на трассе ОРДА — ГФО составило ~364 сут. Доступ к информации для внешнего пользования осуществляется по запросам на сайты ИСЗФ СО РАН http://rp.iszf.irk.ru:8080/iisr/; http://iszf.irk.ru.

В течение года в ОРДА были проведены следующие мероприятия.

12 июля — пресс-тур на ИРНР. Организован выезд в обсерваторию журналистов телекомпаний «Вести-Иркутск», «Байкал24», «Аист ТВ».

В ходе пресс-тура проведена экскурсия, включающая осмотр технологического оборудования ИРНР.

В результате пресс-тура в СМИ вышел ряд публикаций:

https://www.youtube.com/watch?v=2GgY4ObinZA,

https://baikal24.ru/text/14-07-2023/023/,

https://aisttv.ru/page/edinstvennyi-v-rossii-v-priangare-nakhoditsia-radar-dlia-nabliudenii-za-kosmicheskim-musorom/,

https://vestiirk.ru/news/press-tur-po-edinstvennomu-v-rossii-radaru-nekogerentnogo-rasseianiia-vpervye-proveli-v-irkutskoi-oblasti/.

24 августа — экскурсия на ИРНР, проведенная в рамках второго астрономического фестиваля, организованного Иркутским региональным астрономическим обществом (ИРАО) совместно с администрацией Усольского района. В экскурсии участвовали более 40 старшеклассников из городов, поселков и сел Иркутской области, республики Бурятия и Монголии (https://www.youtube.com/watch?v=NNvuRI6wvas (Новости дня. Усолье 29.08.2023).

16 сентября — конференция для преподавателей физики Усолья-Сибирского и Усольского района.

В конференции приняли участие более 30 преподавателей Усолья-Сибирского и Усольского района, представители физического факультета ИГУ, сотрудники ИСЗФ СО РАН (https://vk.com/video-220283922_456239020?list=f1c7f321ba8be0eca8).

17 октября — выездное совещание в ОРДА, в котором приняли участие сотрудники ИСЗФ СО РАН, директора местных общеобразовательных школ, преподаватели ИГУ и ИРНИТУ. На совещании выработаны направления сотрудничества:

• Включение работы с данными ИРНР в лабораторные работы студентов ИРНИТУ.

• Подготовка и согласование списка тем дипломных и курсовых работ для студентов ИГУ и ИРНИТУ.

• Мероприятия по проведению внеклассных занятий для школьников на ИРНР.

• Проведение в ОРДА производственной практики студентов ИРНИТУ.

14 ноября — посещение обсерватории с сотрудниками экскурсионной организации «Солнечный ветер» с осмотром антенны ИРНР и зала передающих устройств. Проведена лекция о научных задачах, решаемых с помощью ИРНР.

Рассмотрены возможности проведения экскурсионной деятельности в ОРДА. Сформулирован перечень подготовительных мероприятий, необходимых для проведения экскурсий.

21 ноября — лекция для дежурных смен РЛК «Воронеж-М» рамках проведения занятий с расчетами:

• Введение в физику солнечно-земных связей.

• Радиофизические инструменты ИСЗФ СО РАН для исследования верхней атмосферы.

• Метод некогерентного рассеяния, измерение профиля электронной концентрации, электронной и ионной температур, скорости дрейфа плазмы на высотах 180–600 км.

• Методика коррекции координатной и некоординатной информации с учетом текущего состояния тропосферы и ионосферы.

• Типы радиолокационных сигналов, используемых на ИРНР, методика их обработки.

• Наблюдения низкоорбитальных космических объектов с акцентом на исследование малоразмерной фракции космических объектов (поперечный размер ~10–30 см), а также на спутниковую группировку StarLink.

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 три научных геофизических стационара: два — на территории Иркутской области (Патроны, Узур) и в Красноярском крае (Норильск). В обсерватории ведется круглосуточный круглогодичный мониторинг состояния ионосферы и 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

Магнитная обсерватория в пос. Патроны на расстоянии 21 км от Иркутска оснащена современными стандартными и уникальными магнитометрическими инструментами и предназначена для экспериментального исследования магнитного поля Земли (МПЗ) путем непрерывной регистрации его абсолютных значений и вариаций.

Задачами обсерватории является получение наблюдательного материала высокого качества, проверка соответствия территории и зданий обсерватории, используемого оборудования, принятых норм работы, получаемых данных и т.д. требованиям международных стандартов.

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

Архивы обсерватории хранят непрерывный ряд данных начиная с 1887 г.



Рис. 3.6.1.2. Вековой ход компонент МПЗ за все годы наблюдения в районе Иркутска

В МО «Иркутск» проводится непрерывный круглосуточный мониторинг вариаций МПЗ с помощью трехкомпонентной станции «КВАРЦ» и трехкомпонентной магнитовариационной станции «МВС».

Следующими приборами проводятся абсолютные измерения компонент МПЗ:

• Полный вектор МПЗ — оверхаузеровский протонный магнитометр POS-1;

• Склонение и наклонение элементов МПЗ — инклинометр/деклинометр MAG-001 фирмы «Бартингтон» (Англия, на теодолите фирмы «Цейсс»);

• Непрерывная запись вариации полного вектора МПЗ и двух его ортогональных составляющих — оверхаузеровский протонный магнитометр POS-4.

В марте 2023 г. (16.03) был заключен договор № 31 о научно-техническом сотрудничестве между Геофизическим центром РАН и ИСЗФ СО РАН. В рамках договора с целью отслеживания и учета вариаций МПЗ при проведении наклонно-направленного бурения скважин на углеводородных месторождениях Иркутской области на базе обсерватории размещен и запущен в эксплуатацию оверхаузовский компонентный магнитометр POS-4, позволяющий измерять полный вектор МПЗ и две его ортогональные составляющие (рис. 3.6.1.3).



Рис. 3.6.1.3. Сотрудники МО «Иркутск» и ГЦ РАН. Слева направо: ведущий инженер ГЦ РАН А.А. Груднев, зав. обсерваторией И.С. Москалев, с.н.с. ГЦ РАН Д.В. Кудин, инженер обсерватории М.В. Прикоп

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); общий вид на п. Узуры

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

• Магнитотеллурическая цифровая станция LEMI-418 для измерения вектора вариаций МПЗ в диапазоне 0–0.1 Гц, трех компонент вектора индукции переменного МПЗ в диапазоне 0.01–200 Гц и трех компонент теллурических токов 0.01–200 Гц, включая вертикальную составляющую;

• Колечная установка для калибровки датчиков индукционных магнитометров и регистрации вертикальной компоненты ЭМПЗ в диапазоне 0–300 Гц;

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

• Приемник сигналов навигационных спутников системы GPS/GLONAS для определения полного электронного содержания в ионосфере и магнитосфере;

• Электростатический флюксметр для измерения вертикального градиента потенциала электрического поля атмосферы;

• Приемник сейсмосигналов для исследования землетрясений в Байкальской рифтовой зоне;

• Оптическая система KEO Sentinel, предназначенная для регистрации пространственного распределения интенсивности атмосферной эмиссии 630 нм.

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



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 человек. Первым руководителем Норильской КМИС был Гелий Александрович Жеребцов, возглавлявший позднее Институт, ныне академик РАН, научный руководитель ИСЗФ СО РАН. При проведении высокоширотных экспедиций, организованных Институтом на станциях Норильского меридиана в 1972–1984 гг., Норильская КМИС была базовым пунктом, где 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 Lemi-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). Он предназначен для мониторинга оптических и космофизических явлений в высоких широтах в условиях минимума промышленных И оптических (подсветка города) В помех. 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 РНФ № 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 - $u B_y$ -компоненты). С 17 по 24 UT в компоненте B_x наблюдается излучение ИАР

3.8. 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 2023 г. на оборудовании ЦКП велась регулярная работа по мониторингу состояния околоземного космического пространства. Результаты наблюдений использованы при выполнении программы фундаментальных научных исследований.

На рис. 3.8.2 представлены пункты обращения к сайту ЦКП «Ангара» (<u>http://ckp-angara.iszf.irk.ru/</u>) в 2023 г. С 2013 г. по сегодняшний день количество посещений сайта ЦКП «Ангара» достигло 2500 из более чем 30 стран мира.



Рис. 3.8.1. Расположение экспериментального оборудования ЦКП «Ангара»



Рис. 3.8.2. Пункты обращения к сайту ЦКП «Ангара» в 2023 г.

3.9. Уникальные научные установки

3.9.1. Сибирский радиогелиограф (Сибирский солнечный радиотелескоп (рег. номер 01-27))

Сибирский радиогелиограф (СРГ) находится в Тункинской долине в 220 км от Иркутска. ССРТ включает в себя три Т-образных радиогелиографа, покрывающих частотные диапазоны 3–6, 6–12 и 12–24 ГГц и состоящих из 128, 192 и 206 антенных постов соответственно. Максимальная база СРГ составляет порядка одного километра, что позволяет достигать пространственного разрешения до 4 угл. сек. Все радиогелиографы имеют схожий принцип регистрации микроволнового сигнала и являются независимыми. Параметры приемных систем при проведении наблюдений могут настраиваться в зависимости от научной задачи.



Рис. 3.9.1.1. Центральная часть антенного поля Сибирского радиогелиографа

Основные научные задачи СРГ:

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

• исследование геоэффективных событий в солнечной атмосфере (активных областей, выбросов корональной массы, потоков энергичных частиц, ударных волн) по их микроволновому излучению с высоким пространственным и временным разрешением (с привлечением в случае необходимости данных в других диапазонах);

• исследование механизмов нагрева хромосферы во время солнечных вспышек;

• исследование структуры атмосферы, магнитных полей и движений плазмы в солнечных пятнах и активных областях;

• развитие методов диагностики и прогноза геоэффективных явлений;

• создание новых методов измерений параметров солнечной атмосферы;

• исследование динамики источников импульсного микроволнового излучения во время солнечных вспышек, диагностика вспышечной плазмы и области энерговыделения;

• анализ процессов и условий формирования корональных выбросов массы;

• исследование механизмов нагрева солнечной короны: активные области, яркие корональные точки, корона над корональными дырами;

• разработка методов прогнозирования мощных солнечных вспышек и корональных выбросов массы.



SRH 6200 MHz 2023-06-12

Рис. 3.9.1.2. Радиоизображение Солнца, полученное на СРГ на частоте 6.2 ГГц 12 июня 2023 г.

Радиогелиограф — единственный инструмент, способный отследить динамику коронального выброса на расстояниях до одного радиуса Солнца (рис. 3.9.1.2). СРГ входит в перечень уникальных научных установок России: http://ckp-rf.ru/usu/73606/.

К концу 2023 г. работы по проекту «Национальный гелиогеофизический комплекс: радиогелиограф» будут завершены, но уже сейчас СРГ функционирует в полную силу. В 2023 г. время наблюдений на СРГ составило 2678 ч.

В табл. 3.9.1.1 представлен график загрузки УНУ СРГ за 2023 г. (в часах) с указанием организации — пользователя данных.

Я	нварь	арь Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь	
186	ИСЗФ	168	ИСЗФ	255	ИС3Ф	245	ИС3Ф	180	ИС3Ф	200	ИС3Ф
Июль Ав		Август		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
280	ИСЗФ	250	ИСЗФ	240	ИС3Ф	248	ИСЗФ	240	ИСЗФ	186	ИСЗФ

Таблица 3.9.1.1. График загрузки УНУ СРГ за 2023 г.

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

Архив данных доступен по адресу https://ftp.rao.istp.ac.ru/SRH/.

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



Рис. 3.9.2.1. Внешний вид ИРНР

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

Основные научные задачи ИРНР:

• регулярные наблюдения вариаций параметров ионосферы для различных времен суток, сезонов, уровней солнечной и геомагнитной активностей;

• исследование мощных когерентных отражений во время геомагнитных возмущений;

• наблюдение распространения волновых возмущений, приходящих из полярной области ионосферы;

- наблюдение и сопровождение звездных радиоисточников в пассивном режиме;
- наблюдение космических объектов.

В 2023 г. на научном оборудовании в ОРДА проводился ряд экспериментов, предназначенных для отработки новых методик, модернизации аппаратуры и программного обеспечения (ПО):

- Измерения параметров ионосферной плазмы.
- Накопление статистики по обнаруженным космическим объектам (КО).

• Измерение параметров модернизированных выносных приемных устройств (ВУП).

• Эксперименты с формированием длинных кодовых последовательностей фазоманипулированных (ФМ) сигналов.

- Измерения с использованием новой системы калибровки приемного тракта.
- Накопление статистики при работе системы синхронизации ИРНР-РЛК.

В 2023 г. проводились следующие работы по модернизации аппаратуры и ПО ИРНР:

- проверено формирование длинных кодов ФМ (до 51 элемента);
- разработан тестовый образец системы калибровки приемного тракта;
- начата разработка и отладка нового блока формирования опорных частот;
- введен в эксплуатацию высокоскоростной канал связи обсерватории;
- доработано ПО обработки ионосферной информации в режиме реального времени;
- доработано ПО обработки спутниковой информации в режиме реального времени.

Общее время наблюдений в активном режиме составило ~61 сут, в остальное время наблюдения велись в пассивном режиме.

Периоды работы радара приведены в таблице.

Таблица 3.9.2.1. Эксперименты, проведенные на УСУ «ИРНР» в период 01.2023–12.2023

Периол	Кол-во	Эксперимент				
период	суток	Эксперимент				
o 1 gupong		запуск пассивных наблюдений с возможностью со-				
с і января		провождения звездных радиоисточников				
25 января — 5 февраля	12	наблюдения HP, КО				
27 февраля — 10	10	наблюдения HP, KO, проверка формирования кодов				
марта	12	ФМ				
24-28 апреля	5	наблюдения HP, КО				
10–14 июля	5	наблюдения HP, KO, работа с калибратором				
22-25 августа	4	наблюдения HP, КО				
19_21 сентября	3	наблюдения HP, KO, проверка формирования кодов				
1)-21 септября	5	ΦM				
16–20 октября	5	наблюдения HP, КО				
13–17 ноября	5	наблюдения HP, КО				
ноябрь — декабрь	10	плановые наблюдения				
остальное время		пассивные наблюдения с сопровождением звездных				
до января 2024 г.		радиоисточников				

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

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



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

Основные научные задачи БСВТ:

• спектральные, спектрополяриметрические и фильтровые наблюдения нестационарных процессов в солнечной атмосфере с целью исследования механизмов их возникновения; • наблюдение за солнечными образованиями с использованием адаптивной системы коррекций изображений и разработка эффективных способов коррекции;

• наблюдение за деформациями волнового фронта по солнечным образованиям с использованием коррекций изображений;

• астроклиматические исследования и наблюдения структуры оптической турбулентности по лучу зрения и в приземном слое атмосферы.

В 2023 г. проводились работы по модернизации аппаратуры БСВТ, разработке и совершенствованию методов наблюдений. Периоды работ приведены в таблице. Общее время наблюдений составило 323 сут.

Таблица 3.10.3.1. Эксперименты, про	веденные на УНУ БСВТ
В	период 01.2023-11.2023

Период	Кол-во	Эксперимент
	суток	
09.01.2023-20.11.2023	82	Мониторинг полного диска Солнца в линии Нα
16.06.2023-28.06.2023	50	Мониторинг полного диска Солнца в линии К СаII
11.07.2023-26.10.2023		
10.08.2023-20.08.2023	11	Макетные работы с системой адаптивной оптики БСВТ
		и юстировка оптических элементов двухзеркальной адаптивной
		системы БСВТ тип/тилт-коррекции фазовых искажений
24.07.2023-07.08.2023	14	Измерения турбулентных характеристик атмосферы в слое
		1 км на астроплощадке БСВТ
01.01.2023-20.11.2023	323	Мачтовые измерения средних и турбулентных характеристик
		флуктуаций скорости ветра, температуры и показателя пре-
		ломления воздуха на высотах 4 и 30 м

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

Публикации, выполненные с использованием УНУ БСВТ:

Shikhovtsev A., Kovadlo P., Chuprakov S., Lukin V. Correction of wavefront distortions in wide-field adaptive optics systems // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 127800C. DOI: 10.1117/12.2688320.

Driga M.B., Kovadlo P.G., Kiselev A.V., Russkikh I.V., Kolobov D.Yu. Method for determining the wavefront distortions from the Shack–Hartmann sensor measurements // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 127800B. DOI: 10.1117/12.2688319.

Shikhovtsev A.Y., Kovadlo P.G., Lezhenin A.A., Gradov V.S., Zaiko P.O., Khitrykau M.A., Kirichenko K.E., Driga M.B., Kiselev A.V., Russkikh I.V., et al. Simulating atmospheric characteristics and daytime astronomical seeing using weather research and forecasting model // Appl. Sci. 2023. Vol. 13, 6354. DOI: 10.3390/app13106354.

Shikhovtsev A.Y., Kovadlo P.G., Lezhenin A.A., Korobov O.A., Kiselev A.V., Russkikh I.V., Kolobov D.Y., Shikhovtsev M.Y. Influence of atmospheric flow structure on optical turbulence characteristics // Appl. Sci. 2023. Vol. 13, 1282. DOI: 10.3390/app13031282.

Shikhovtsev A.Y., Kovadlo P.G., Kiselev A.V., Eselevich M.V., Lukin V.P. Application of neural networks to estimation and prediction of seeing at the Large Solar Telescope site // Publ. Astron. Soc. of the Pacific. Vol. 135, no.1043, 014503. DOI: 10.1088/1538-3873/acb3842023.

4. Научно-организационная деятельность

4.1. Общие сведения

В 2023 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 солнечноземных связей; развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики в соответствии с планом госзаданий на 2023 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 2023 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 — акад. Г.А. Жеребцов).

1.2.2. Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечноземной 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. Головко).

1.3.5. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца (рег. номер 121040500116-9, руководители проекта — д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов, д.ф.-м.н. Н.И. Кобанов).

1.3.6. Методы и инструменты астрофизического эксперимента (рег. номер 121040500115-2, руководители проекта — д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, к.ф.-м.н. С.В. Лесовой).

1.4. Направление ПФНИ 1.3.3 «Ядерная физика и физика элементарных частиц»:

1.4.1. Мониторинг межпланетного пространства в периоды спорадических процессов на Солнце по данным наземных наблюдений космических лучей (рег. номер 121040500114-5, руководитель проекта — к.ф.-м.н. В.Е. Сдобнов).

2. Работы по 14 грантам Российского научного фонда:

2.1. № 21-12-00195 «Сейсмология вспышечных областей на Солнце», руководитель — к.ф.-м.н. В.М. Накаряков.

2.2. № 21-72-00022 «Химически пекулярные звезды на ранних этапах эволюции: Ар/Вр-феномен в областях звездообразования», руководитель — к.ф.-м.н. И.С. Потравнов.

2.3. № 21-72-00039 «Исследование наблюдательных свидетельств разных механизмов возбуждения ударных волн в солнечной короне», руководитель — к.ф.-м.н. В.И. Киселев.

2.4. № 21-72-10139 «МГД-волны как средство изучения природы явлений в системе Солнце — Земля», руководитель — к.ф.-м.н. М.А. Челпанов.

2.5. № 22-29-01137 «Разработка метода определения оптической структурированной турбулентности в атмосфере», руководитель — д.ф.-м.н. П.Г. Ковадло.

2.6. № 22-27-00280 «Новый метод исследования верхней атмосферы — ультранизкочастотная спектроскопия ионосферы», руководитель — д.ф.-м.н. А.С. Потапов.

2.7. № 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.

2.8. № 22-17-00146 «Экспериментальное и теоретическое исследование взаимодействия нейтральной и ионизованной компонент атмосферы Земли», руководитель акад. Г.А. Жеребцов.

2.9. № 22-77-10032 «Взаимодействие ультранизкочастотных волн с частицами кольцевого тока в магнитосфере Земли: теория и эксперимент», руководитель к.ф.-м.н. О.С. Михайлова.

2.10. № 22-77-10008 «Исследования крупномасштабных явлений в нижней и средней атмосфере и оценка их локального проявления на высотах мезосферы — нижней термосферы», руководитель — к.ф.-м.н. О.С. Зоркальцева.

2.11. № 22-72-00049 «Астрооптические свойства и структура турбулентной атмосферы: концепция размещения крупного телескопа», руководитель — к.ф.-м.н. А.Ю. Шиховцев.

2.12. № 23-27-00322 «Комплексное исследование пространственной структуры ионосферных возмущений по данным распределенных цепей ионозондов вертикального зондирования, приемников GPS/ГЛОНАСС и магнитометров глобальной сети INTER-МАGNET в Северном полушарии», руководитель — к.ф.-м.н. М.А. Черниговская.

2.13. № 23-27-00213 «Исследование глобального и регионального ионосферного отклика на геомагнитные бури на основе статистического анализа и численного моделирования», руководитель — к.ф.-м.н. К.Г. Ратовский.

2.14. № 23-17-00157 «Разработка методов мониторинга и прогноза состояния ионосферы и качества высокоточной навигации с применением интеллектуального анализа данных», руководитель — к.ф.-м.н. Ю.В. Ясюкевич.

3. Выполнялись работы в рамках создания Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук и прикладные работы в рамках хозяйственных договоров и контрактов.

4.2. Деятельность ученого совета

Состав ученого совета Института был утвержден на Конференции научных работников Института 12.05.2022 г. В составе совета — 31 чел. Председателем является директор Института, чл.-корр. РАН А.В. Медведев.

В 2023 г. было проведено 12 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.

16 и 17 ноября 2023 г. состоялась отчетная научная сессия, на которой были представлены основные результаты научных работ, проведенных учеными Института в течение года. Наиболее значимыми научными результатами за 2023 г. признаны следующие:

1. Микроволновый индикатор потенциальной геоэффективности и жгутовая магнитная структура солнечной активной области (авторы результата — А.В. Кудрявцева, И.И. Мышьяков, А.М. Уралов, В.В. Гречнев).

2. Альфвеновские волны, генерируемые баунс-дрейфовой неустойчивостью в кольцевом токе (автор результата — О.В. Магер).

3. Механизмы динамо на звездах солнечного типа с разной скоростью вращения (автор результата — В.В. Пипин).

4. Исследование природы долгоживущего метеорного следа (авторы результата — Васильев Р.В.¹, Михалёв А.В.¹, Сыренова Т.Е.¹, Артамонов М.Ф.¹, Белецкий А.Б.¹, Мерзляков Е.Г.², Цедрик М.В.¹, Подлесный А.В.¹ (¹ИСЗФ СО РАН; ²ИЭМ НПО «Тайфун»)).

5. Теория теплового радиоизлучения многокомпонентной многотемпературной плазмы (авторы результата — Кузнецов А.А.¹, Флейшман Г.Д.², Landi E.³ (¹ИСЗФ СО РАН; ²New Jersey Institute of Technology; ³University of Michigan)).

6. Поиск колебаний солнечного типа у звезд на стадии до ГП. Можно ли найти молодые Солнца? (авторы результата — М. Mullner¹, К. Zwints¹, Е. Corsaro², Т. Steindl¹, И.С. Потравнов³, Е.W. Guenther⁴, А. Князев^{5,6,7}, В. Гварамадзе^{7,8} (¹Institut für Astro- und Teilchenphysik, Universität Innsbruck; ²NAF — Observatorio Astrofisico di Catania; ³ИСЗФ СО РАН; ⁴Thüringer Landessternwarte Tautenburg; ⁵South African Astronomical Observatory; ⁶Southern African Large Telescope Foundation; ⁷Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ; ⁸Институт космических исследований РАН).

7. Простой метод нахождения направления движения КВМ в трехмерном пространстве (авторы результата — Егоров Я.И., Файнштейн В.Г.).

4.3. Деятельность диссертационного совета

Диссертационный совет 24.1.197.01 создан на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института солнечноземной физики Сибирского отделения Российской академии наук и утвержден приказом Министерства образования и науки РФ № 91нк от 26 января 2023 г.

Председатель совета – академик Жеребцов Г.А.

Заместители председателя – член-корреспондент РАН Медведев А.В. и д.ф.-м.н. Алтынцев А.Т.

Ученый секретарь совета – д.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.

Диссертационный совет принимает к защите диссертации по специальностям:

1.3.1 — физика космоса, астрономия;

1.3.4 — радиофизика;

1.6.18 — науки об атмосфере и климате.

В 2023 г. проведено 15 заседаний совета и защищены 2 кандидатские и 2 докторские диссертации.

На заседаниях совета рассматривались организационные и методические вопросы, способствующие повышению эффективности работы совета, повышению требований к представлению диссертаций и их защитам.

1 июня 2023 г. состоялась защита диссертации Елены Сергеевны Исаевой (ИГУ) «Статистика вспышек в комплексах активности на Солнце» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 — физика космоса, астрономия.

15 июня 2023 г. состоялась защита диссертации Юрия Владимировича Ясюкевича (ИСЗФ) «Развитие диагностических возможностей приемников сигналов глобальных

навигационных спутниковых систем для мониторинга состояния ионосферы и коррекции ионосферной ошибки в радиотехнических системах» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.4. — радиофизика

10 октября 2023 г. состоялась защита диссертации Александра Егоровича Степанова (ИКФИА) «Исследования крупномасштабных структур высокоширотной ионосферы и поляризационного джета по измерениям на Якутской цепочке ионозондов и спутниковым данным» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.18. — науки об атмосфере и климате.

19 октября 2023 г. состоялась защита диссертации Сергея Сергеевича Алсаткина (ИСЗФ) «Метод восстановления высотного профиля электронной концентрации на основе малопараметрической модели фарадеевских замираний» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 — радиофизика.

4.4. Международное сотрудничество

В отчетном году состоялось 19 выездов сотрудников ИСЗФ СО РАН в Германию, Китай, США и Францию. Сотрудники института приняли участие в 20 международных научных мероприятиях (см. список международных научных мероприятий).

Международные проекты

Проект COFFIES (Consequences Of Fields and Flows in the Interior and Exterior of the Sun — Магнитные поля и течения внутри и на поверхности Солнца и их последствия в солнечном динамо). Ответственный исполнитель от ИСЗФ СО РАН — д.ф.-м.н. В.В. Пипин; координатор — Тодд Хуксема, Стэнфордский университет (Сайпресс С-13, 466 Виа Ортега, Стэнфорд, США). Сроки: 2020–2027 гг.

Проект 2017VMA009 программы Президента Китайской академии наук «Президентская инициатива поддержки международных визитов (CAS President's International Fellowship Initiative, PIFI) «Разработка комплексной системы для прогноза космической погоды на основе наблюдений магнитных полей на наблюдательной солнечной станции Хуайроу (HSOS, Китай) и в Саянской солнечной обсерватории (ССО, Россия)». Координаторы д.ф.-м.н. М.Л. Демидов, ИСЗФ СО РАН; Юаньюн Дэн, Национальные астрономические обсерватории КАН (20А ул. Датун, район Чаоян, Пекин, 100012, Китай). Сроки: 2021–2023 гг.

Проект Международного института космических исследований (International Space Science Institute) «Трёхмерное 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, г. Вэйхай, Китай). Сроки: 2022–2023 гг.

Проект G2022032006L «Изучение магнитогидродинамических волн в солнечных активных областях». 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.

Проект краткосрочного сотрудничества для иностранных экспертов «Исследование ключевых технологий эффективного детектирования солнечного широкополосного радиоизлучения и солнечных эруптивных событий» Министерства науки и технологий КНР № 110000206220220025. Координаторы — д.ф.-м.н. Кузнецов А.А., ИСЗФ СО РАН; проф. Фабао Янь, Институт космических наук Шаньдунского университета (180 Вэньхуа-Си-Роуд, г. Вэйхай, Китай). Сроки: 2022–2023 гг.

Участие в программе приглашенных исследователей ASO-S (Advanced Space-based Solar Observatory — Передовая обсерватория космического базирования для исследования

Солнца) обсерватории «Пурпурная гора» Китайской академии наук. Координаторы — к.ф.-м.н. Л.К. Кашапова, ИСЗФ СО РАН; проф. Вэйцюнь Гань, обсерватория «Пурпурная гора» Китайской академии наук (10 Юаньхуа-Роуд, район Цися, г. Нанкин, Китай). Сроки: 2023 г.

Участие в работе международной объединённой исследовательской группы «Процессы взаимодействия между магнитосферой, термосферой и ионосферой» ("Coupling processes between magnetosphere, thermosphere and ionosphere") Глобальной геодезической системы наблюдений (Global Geodetic Observing System, GGOS). Координаторы — д.ф.м.н. Ю.В. Ясюкевич, ИСЗФ СО РАН; д-р Андрес Калабиа, Университет Алькала (Испания). 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 2023 г. проводились совместные научноисследовательские работы:

- по проекту PIFI № 2017VMA009;
- по проекту G2022150005L;
- по проекту G2022032006L;
- по проекту Министерства науки и технологий КНР № 110000206220220025;
- по программе приглашенных исследователей ASO-S;

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

Визиты зарубежных ученых в ИСЗФ СО РАН

29 июля в Институт посетила делегация Китайского геологического университета (г. Пекин) в составе 6 человек во главе с ректором университета. Цель встречи — знакомство с работой ИСЗФ СО РАН и обсуждение возможного сотрудничества. Стороны договорились обдумать дальнейшие пути сотрудничества, сформулировать предложения друг для друга.

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) — 14 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, CO-SPAR) — 4 чел.

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

12. Ассоциация выпускников программы Марии Кюри (Marie Curie Alumni Association, MCAA) — 1 чел.

13. 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 2023 г. обновился состав редакционной коллеги. Сейчас в нее входят 10 сотрудников Института, 19 представителей других институтов и 4 представителя зарубежных организаций. Каждую из трех научных специальностей журнала (1.3.1.— физика космоса, астрономия; 1.3.4. — радиофизика; 1.6.18. — науки об атмосфере и климате) в составе редколлегии представляют не менее 10 докторов наук.

В 2023 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) Web of Science Core Collection, Scopus, NASA Astrophysics Data System (ADS), Directory of Open Access Journals (DOAJ), CrossRef и отечественные базы РИНЦ и RSCI.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ с учетом цитирования переводной версии составляет 1.271. Журнал занял 8-е место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2022 год по тематике «Геофизика» и 1-е место по тематике «Астрономия».

Журнал издается в русско- и англоязычной версиях. В 2023 г. изданы 4 номера тома 9 в обеих версиях, в которых опубликовано 50 научных статей по следующим аспектам солнечно-земной физики:

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

В 2023 г. Институт опубликовал «Отчет о научной и научно-организационной деятельности в 2022 г.».

4.6. Работа библиотеки

Работа библиотеки в 2023 г. велась по всем обязательным направлениям:

– добавлена 481 новая запись в электронный каталог «Публикации сотрудников Института» и общее количество отраженных в каталоге публикаций достигло 20008 единиц.

– в БД «Электронные книги» прибавились 180 новых наименований книг по тематике исследований Института.

 по запросам сотрудников скачано 295 статей, оцифрованы две объемные книги по запросам читателей.

– выполнено 16 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 212 статей.

–в раздел «Отечественные журналы» электронного каталога библиотеки своевременно вводилось содержание поступающих выпусков журналов «Геомагнетизм и аэрономия», «Астрономический журнал», «Письма в «Астрономический журнал». Наполняемость электронной библиотеки Института достигла 97.2 ГБ.

В 2023 г. библиотечный фонд, как и в предыдущие годы, пополнялся в основном книгами, полученными в дар от сотрудников. Самостоятельно был куплен очередной выпуск «Астрономического ежегодника на 2024 год». Отечественные журналы поступали по подписке. Информация о новых поступлениях ежеквартально размещалась в Едином электронном каталоге UNIT на базе библиотеки ИНЦ СО РАН.

Доступ к зарубежным изданиям осуществлялся на основе заключенных лицензионных договоров с РЦНИ. В 2023 г. это были только издательства Springer и Wiley. Большей частью предоставлялись тестовые доступы к ресурсам различных издательств и чаще всего их ресурсы не отвечали запросам наших научных работников. Поэтому возросла доля заказов статей из зарубежных журналов по МБА.

Благодаря бесперебойной работе интернет-версии ИРБИСА пользователи электронной библиотеки активно работают с электронными каталогами библиотеки ИСЗФ СО РАН, объединенным каталогом библиотек ИНЦ СО РАН и, как всегда, могут заказывать литературу онлайн.

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

В текущем году были организованы и проведены 6 тематических выставок:

- «Летопись Сибирской науки» — ко Дню науки и в честь 300-летия РАН;

– «Женщины в науке» — к 8 Марта;

- «Земному притяженью вопреки» — ко Дню космонавтики;

- «Песни Великой войны» — ко Дню Победы;

- «Его Величество Словарь!»;

– ежегодная мини-выставка «Книги-юбиляры года».

Выставка новых поступлений обновляется один-два раза в месяц.

Выполнено 12 больших справок по запросам руководства Института с использованием отечественной БД РИНЦ.

4.7. Образовательная деятельность

Подготовка научных и научно-педагогических кадров является одной из приоритетных задач Института.

Распоряжением Правительства РФ № 1642-р 23 июня 2023 г. Институт включен в перечень научных организаций, которые вправе осуществлять образовательную деятельность по программам специалитета. Для ИСЗФ СО РАН это решение открывает большие возможности для подготовки квалифицированных специалистов совместно с высшими
учебными заведениями посредством сетевой формы обучения.

На 2023 г. Министерством науки и высшего образования РФ было выделено 8 бюджетных мест для приема по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и 6 мест для приема в магистратуру. Приемная кампания была проведена с 3 июля по 31 августа 2023 г.

По состоянию на 01.10.2023 численность аспирантов по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров составляет 29 человек (табл. 4.7.1): по профилю «Радиофизика» — 11 чел., «Физика Солнца» — 3 чел., «Физика атмосферы и гидросферы» — 3 чел; по научным специальностям 1.3.1 «Физика космоса, астрономия» — 6 чел., 1.3.4 «Радиофизика» — 2 чел., 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате» — 4 чел.

В 2023 г. диплом государственного образца об окончании аспирантуры получили 3 чел.: 1 чел. по профилю «Радиофизика», 1 чел. по профилю «Физика Солнца» 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)

N⁰	ФИО аспиранта	Научный руководитель	Тема научно-исследовательской работы (лиссертаций)
1.	Власов А.А.	с.н.с.	Исследование пространственной струк-
		к.фм.н. Козлов Д.А.	туры монохроматических альфвенов-
			ских волн в магнитосфере Земли
2.	Воронова Е.А.	B.H.C.	Исследование межгодовых и суточных
		к.фм.н. Ратовский К.Г.	вариаций параметров спорадического
			слоя Es
3.	Вяткин А.Н.	н.с.	Исследование эффектов крупномас-
		к.фм.н. Зоркальцева О.С.	штабных тропосферных процессов в
			верхней атмосфере
4.	Громик Н.А.	с.н.с.	Комплексный анализ
		к.фм.н. Лебедев В.П.	геофизических данных, полученных
			на радиофизических инструментах
			ИСЗФ СО РАН
5.	Ермаков В.Ю.	с.н.с.	Исследование поляризационной струк-
		к.фм.н. Лебедев В.П.	туры радиолокационных сигналов Ир-
			кутского радара некогерентного рассея-
			ния и всеатмосферного радара НР-МСТ
6.	Ивонин В.А.	с.н.с.	Исследование тонкой структуры радио-
		к.фм.н. Лебедев В.П.	локационного сигнала, отраженного от
			космических аппаратов, по данным Ир-
			кутского радара НР
			и всеатмосферного радара HP-MCT
7.	Каракотов Р.Р.	зав. лаб.	Исследование квазипериодических ко-
		д.фм.н. Кузнецов А.А.	лебаний в солнечных вспышках
			по многоволновым наблюдениям
8.	Киричков П.Н.	г.н.с.	Анализ магнитной активности Солнца
		д.фм.н. Демидов М.Л.	на основе синоптических наблюдений
9.	Куклина Ф.Р.	с.н.с.	Отражение тектонических нарушений
		к.фм.н. Семинский И.К.	Сибирской платформы
			в электромагнитном и эманационном
			полях Земли
10.	Логвинов Д.В.	г.н.с.	Прогноз параметров солнечного ветра
		д.фм.н. Демидов М. Л.	по наблюдениям крупномасштабных
			магнитных полей Солнца

Таблица 4.7.1

11.	Малешкий Б.М.	B.H.C.	Построение эмпирической молели
11.		кф-мн ЯсюкевичЮВ	ионосферных возмушений по данным
		к.ф. м.н. леюкевитто.в.	GPS/FIIOHACC/Galileo/BeiDou
12	Manuru D A	P.W.O.	
12.	марчук г.А.	B.H.C.	динамика упч электромагнитных ко-
		д.фм.н. Мишин Б.Б.	леоании и токовых систем
10			в ходе магнитосферных бурь и суббурь
13.	Маршалкина Т.Н.	B.H.C.	Разработка эмпирических моделей
		к.фм.н. Ясюкевич Ю.В.	для прогнозирования геомагнитной
			и ионосферной возмущенности
14.	Молчанова Н.О.	зав. лаб.	Радиофизические эффекты высотных
		к.фм.н. Васильев Р. В.	молниевых разрядов
15.	Мотык И.Д.	с.н.с.	Процессы энерговыделения на фазе
		к.фм.н. Кашапова Л. К.	спада солнечной вспышки
16.	Обытоцкий Г.В.	с.н.с.	Исследование вариаций аэрозольной
	,	к.фм.н. Ташилин М.А.	оптической толши на территории Во-
		1	сточной Сибири по ланным спутнико-
			вых измерений
17	PUDIOR A B	гар паб	
17.			in the polytic p Martinize similar the polytic p
		к.фм.н. Климушкин Д.Ю.	ные волны в магнитосфере. Теория и
10	Canada arresto C.A.		
18.	Сереоренникова С.А.	B.H.C.	Оценка границ локализации возмуще-
		к.фм.н. Ясюкевич Ю.В.	нии высокоширотнои и низкоширотнои
			ионосферы по данным глобальных
			навигационных спутниковых систем
19.	Смотрова Е.Е.	с.н.с.	Исследование взаимодействий ультра-
		к.фм.н. Михайлова О.С.	низкочастотных волн
			с заряженными частицами магнитосфе-
			ры
20.	Софьин А.В.	зав. отделом	Перемещающиеся ионосферные воз-
		д.фм.н. Куркин В.И.	мущения в среднеширотной ионосфере
			Азиатского региона России
21.	Трофимов Е.А.	директор	Экспериментальное исследование вол-
	1 1	члк. РАН Медведев А.В.	новой активности в верхней атмосфере
22.	Тютрин Л.А.	зам. лир. по научной работе	Разработка ралиометра на ллину волны
		кф-мн. Лесовой СВ	10.7 нм для мониторинга геоэффектив-
			ных солнечных явлений
23	Фелечёв В В	внс	Моледирование физических процессов
25.	Феденев Б.Б.	r d M H Audullopauton	моделирование физических процессов
		С А	в магнитоплазменных структурах сол-
24	Acres MD		
24.	Федоров М.Э.	д.т.н. демьянов В.В.	Алгоритм оценки шумов генераторов
			навигационных приемников для повы-
			шения точности измерения фазы двух-
			частотными навигационными приемни-
			ками
25.	Холодова Л.А.	зав. лаб.	Влияние геофизических событий
		к.фм.н. Васильев Р. В.	на распространение электромагнитных
			волн от молниевых разрядов
26.	Черепанов О.В.	с.н.с.	Проявления возмущений гелиогеофизи-
	_	к.фм.н. Белецкий А.Б.	ческой и антропогенной природы в соб-
			ственном свечении верхней атмосферы
			Земли, зарегистрированные с помошью
			пространственно разнесенных оптиче-
			ских систем
27	IIIamentanopa IO U	СНС	
<i>2</i> 7.	пато у гдинова 10.11.		
		к. фм. п. кашанова л.к.	
1	1		в метровом радиодианазоне

28.	Шелков А.Д.	зав. лаб.	Динамические и температурные вариа-
		к.фм.н. Васильев Р.В.	ции нейтральной компоненты верхней
			атмосферы под действием магнитосо-
			пряжённой ионосферы
29.	Шубин Д.А.	зав. лаб.	Статистическое исследование длинно-
		к.фм.н. Климушкин Д.Ю.	периодных волн в магнитосфере Земли
			на основании спутниковых данных

29 ноября 2023 г. распоряжением губернатора Иркутской области №382-р аспирантке 2-го года обучения по научной специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия» Смотровой Екатерине Евгеньевне была присуждена именная стипендия.

Продолжается подготовка по образовательной программе магистратуры 03.04.02 «Физика». В 2023 г. квалификацию «Магистр» получили 3 выпускника магистратуры по профилю подготовки «Солнечно-земная физика». Феденёв Виктор Васильевич окончил магистратуру с красным дипломом.

Общая численность магистрантов 1–2 курса на конец 2023 г. составила 3 чел. Темы научно-исследовательских работ магистрантов приведены в табл. 4.7.2.

			Тема
N⁰	ФИО магистранта	Научный руководитель	научно-исследовательской
			работы
1.	Дрига М.Б.	с.н.с.	Разработка метода оценки
		д.фм.н. Ковадло П.Г.	параметров волнового фрон-
			та световой волны примени-
			тельно
			к системе коррекции теле-
			скопических изображений
2.	Кузьмицкий А.В.	B.H.C.	Генерация и перенос излуче-
		к.фм.н. Кочанов А.А.	ния
			в атмосфере Солнца
3.	Рожкова Д.В.	с.н.с.	Исследование микроволново-
		к.фм.н. Кашапова	го излучения солнечных
		Л.К.	вспышек
			с помощью моделирования
			гиросинхротронного излуче-
			ния

Таблица 4.7.2

По окончании магистратуры все выпускники Института были зачислены на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре без вступительных экзаменов.

Таким образом, в 2023 г. продолжается непрерывный процесс подготовки молодых кадров в магистратуре и аспирантуре Института.

4.8. Работа с вузами

Институт сотрудничает с ИГУ (ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»), ИРНИТУ (ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»), БГУ (Байкальский государственный университет), ИрГУПС (Иркутский государственный университет путей сообщения), Иркутским педагогическим университетом, Иркутским филиалом Института гражданской авиации, Университетом ИТМО (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики), Поволжским государственным технологическим университетом, Московским физико-техническим институтом МГУ и др.

Совместные структуры с вузами Иркутска:

• Базовая кафедра радиоэлектроники и телекоммуникационных систем (ИСЗФ СО РАН и ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», соглашение о сотрудничестве от 20 июля 2010 г., договор о сотрудничестве от 22 ноября 2011 г.).

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

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

• Базовая кафедра ИСЗФ СО РАН — кафедра метеорологии и физики околоземного космического пространства на географическом факультете ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет» (протокол ученого совета ФГБОУ ВО «ИГУ» № 3 от 15.04.2019 г.).

Активно используется инструментальная база Института. В обсерваториях Института ежегодно проходят практику студенты ИГУ, ИРНИТУ, БГУ, ведется популяризаторская деятельность. В 2023 г. были проведено более 960 экскурсий в обсерватории Института.

Институт совместно с Университетом ИТМО реализует магистерскую программу по направлению «Оптотехника», 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 2023 г. занималось более 40 сотрудников, 18 сотрудников проводили работу со школьниками.

В 2023 г. в Институте прошли производственную практику 22 студента вузов, выполнили курсовые — 16, дипломные работы — 17.

4.9. Работа Научно-образовательного центра

Научно-образовательный центр (НОЦ) ИСЗФ СО РАН создан в 2008 г. Основной задачей НОЦ является организация педагогической работы и популяризация науки, проводимые сотрудниками Института с целью привлечения молодых перспективных научных кадров. Организационная структура НОЦ включает заведующего, секретаря и научных сотрудников Института, привлекаемых к 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 2023 г. сотрудники ИСЗФ приняли активное участие в работе разнообразных научно-образовательных мероприятий, проводимых в Иркутске. К Дню российской науки для школьников и жителей города в областной государственной универсальной научной библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского была проведена научно-популярная лекция «Навигационные спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС: принципы работы и использование для научных задач» (к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.). В рамках проекта «Новости науки» в Профессорском читальном зале состоялась лекция «Прогноз погоды в космосе» (к.ф.-м.н. Анфиногентов С.А.).

Совместными усилиями Иркутского планетария, физического факультета Иркутского государственного университета (ИГУ) и сотрудников ИСЗФ СО РАН была организована работа «Субботней школы физики» в Иркутском планетарии. Школа состояла из двух сезонов: весеннего (март-май) и осеннего (октябрь-ноябрь). В рамках школы были проведены научно-популярные лекции и практические открытые лабораторные работы:

- к.ф.-м.н. Анфиногентов С.А. «Волны в космосе»,
- Рубцов А.В. «Космическая радиация»,
- Рубцов А.В. «Магнитные бури»,
- к.ф.-м.н. Лебедев В.П. «Использование квадрокоптеров в физике»,
- Ткачев И.Д. «Как и зачем исследуют атмосферу Земли»,
- к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю. «Наше место во Вселенной»,
- к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю. «Полярные сияния»,
- к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В. «Космическая погода: взгляд из Иркутска»,
- к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю. «Расширение Вселенной»,
- Ткачев И.Д. «Атмосферное электричество: молнии, спрайты и все-все-все»,
- к.ф.-м.н. Едемский И.К. «Спутниковые системы навигации»,
- к.ф.-м.н. Костарев Д.В. «Влияние космической погоды на нашу жизнь»,
- к.ф.-м.н. Лебедев В.П. «Возвращение бумеранга: с физической точки зрения».
- В 2023 г. расширилось сотрудничество НОЦ со школами Иркутска.

Для преподавателей и учеников школы «Точка будущего» была проведена научнопопулярная лекция «Проблема прогноза космической погоды» (Рубцов А.В.). В обсерватории пп. Торы и Бадары были организованы выездные лекции «Оптические инструменты обсерватории Торы» (к.ф.-м.н. Васильев Р.В.) и «Сибирский радиогелиограф» (Иванов Е.Ф.). Для учителей физики Усольского района были организованы выездные лекции с посещением Радара некогерентного рассеяния, знакомящие слушателей с устройством радара и решаемыми с его помощью научными задачами (к.ф.-м.н. Лебедев В.П., Заворин А.В.). Прочитаны лекции «Проблема прогноза космической погоды» (Рубцов А.В.) и «ГНСС и дистанционное зондирование Земли из космоса» (к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В.).

В рамках сотрудничества с Лицеем-интернатом №1 в лабораториях ИСЗФ ежегодно проводится ознакомительная исследовательская практика для учащихся 10 классов (Серебренникова С.А.).

НОЦ и Совет научной молодежи ИСЗФ СО РАН при поддержке ИГУ и Министерства образования Иркутской области 14 апреля 2023 г. организовали и провели XII Научно-практическую конференцию школьников «Человек и космос», возобновившую свою работу в очном формате. В финальном устном этапе приняли участие учащиеся 7–11 классов (29 чел.) из Иркутска, Саянска, Усть-Илимска, Шелехова, Осы, Черемхово, Усолья-Сибирского а также Усольского и Тайшетского районов. В подготовке и проведении конференции принимали участие 12 сотрудников Института. В рамках конференции В.П. Лебедевым была прочитана научно-популярная лекция «Космический мусор». Участники, занявшие призовые места, были награждены призами (планшет, рюкзаки, настольные игры).

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

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 2023 г. ведущие ученые Института прочитали курсы лекций по физике Солнца, плазмы, ионосферы и магнитосферы. Проведены следующие мероприятия:

• Спец. курс «Физика ближнего космоса» (зав. лаб. к.ф.-м.н. Климушкин Д.Ю.);

• Курс лекций и практических занятий «Обработка сигналов и изображений» (в.н.с. к.ф.-м.н. Кочанов А.А.).

• Производственная практика. Радиофизика и электроника, 4 курс. (к.ф.-м.н. Лебедев В.П., к.ф.-м.н. Лесовой С.В., к.ф.-м.н. Васильев Р.В., к.ф.-м.н. Тащилин М.А., Ивонин В.А., Громик Н.А., к.ф.-м.н. Кочанов А.А., Иванов Е.Ф., Ткачев И.Д., к.ф.-м.н. Сыренова Т.В.).

• Ознакомительная практика. Физика, Радиофизика и электроника, 2 курс. (к.ф.-м.н. Лебедев В.П., к.ф.-м.н. Анфиногентов С.А., к.ф.-м.н. Ойнац А.В., к.ф.-м.н. Белецкий А.Б., к.ф.-м.н. Шиховцев А.Ю., Рубцов А.В., к.ф.-м.н. Ратовский К.Г., д.ф.-м. н. Скоморовский В.И.).

С целью привлечения студентов ИГУ для выполнения курсовых и дипломных работ под руководством сотрудников ИСЗФ проведен цикл научно-популярных лекций по тематике Института:

• Рубцов А.В. «Проблема прогноза космической погоды»,

• к.ф.-м.н. Челпанов А.А. «Исследования Солнца»,

• к.ф.-м.н. Челпанов М.А. «Магнитосфера и окрестности»,

• к.ф.-м.н. Ратовский К.Г. «Ионосфера для чайников»,

• Ткачев И.Д. «Как и зачем исследуют атмосферу Земли?»,

• к.ф.-м.н. Костарев Д.В. «Влияние космической погоды на наземные системы»,

• к.ф.-м.н. Анфиногентов С.А. «Сибирский радиогелиограф и его научные задачи»,

• к.ф.-м.н. Лебедев В.П. «Взгляд на проблему космического мусора через Иркутский радар некогерентного рассеяния»,

• Иванов Е.Ф. «Фундаментальные задачи радиоастрономии»,

• к.ф.-м.н. Бернгардт О.И. «Машинное обучение в применении к научным задачам»,

• Веснин А.М. «Научное исследование как open-source проект: история одного землетрясения»,

• к.ф.-м.н. Ясюкевич Ю.В. «Как ученые следят за космической погодой».

4.10. Работа музея ИСЗФ СО РАН

Музей ИСЗФ СО РАН образован в 2010 г. в год 50-летия ИСЗФ СО РАН.

Целью создания музея является сохранение исторических архивов, научно-просветительская и учебно-образовательная деятельность.

На сегодняшний день экспозиция музея включает более 370 единиц хранения.

В зале музея до настоящего времени проводятся ремонтные работы: проведен ремонт фасада от протекания во время осадков, покрашены стены, заменены потолочные плиты и пожарная защита, идет замена освещения витрин и некоторых экспонатов, закуплено осветительное и прочее электрооборудование (розетки и выключатели, приобретен поликарбонат, из которого собственными силами подготовлены щиты для новых стендов.

По инициативе музея подписан договор с ИрНИТУ, в состав которого входит Институт архитектуры, строительства и дизайна (АСиД, директор В.В. Пешков), на изготовление презентационных макетов обсерваторий ИСЗФ СО РАН силами студентов в рамках курсового проектирования.

В соответствии с графиком посещений обсерваторий на 2023 г. сотрудники музея посетили Обсерваторию радиофизической диагностики атмосферы. Результатом экскурсии стала коллекция собственных фото- (альбом) и видеоматериалов.

Продолжен поиск новых экспонатов, создание и реставрация альбомов, поиск фотоматериалов и создание постеров о ветеранах Института, проработавших 50 и более лет.

Собраны исторические справки для публикаций к 300-летию Российской академии наук по просьбе научных сообществ Читинской области и Уссурийска.

Традиционно совместно с профкомом и дирекцией Института музей принимал уча-

стие в поздравлении ветеранов с праздником Победы.

Согласно плану «Навстречу 300-летию Российской академии наук», открыты две выставки под общим названием «Мы помним, как все начиналось!».

Раздел музея на сайте Института пополнился новыми выставками: «Нет дороге окончанья!», «Золотые юбиляры-2023», «Выставка к Дню Победы», «Что было первым — спутник или ракета?», «Радар-30 (юбилею академика Г.А. Жеребцова посвящается)», «Норильск-60», «Юбилей академика». Все выставки были представлены на стендах и по-полнили коллекцию музейных альбомов.

В сентябре музей принял участие в IV Всероссийской научно-практической конференции «Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле», Был представлен доклад «Музей ИСЗФ СО РАН. Выставки как способ популяризации естественно-научных знаний».

В настоящее время проводится реставрация старых стендов и планшетов.

Ремонтные работы в зале музея повлияли на количество проведенных экскурсий в течение года. Кроме нескольких экскурсий для студентов и гостей Института, состоялись встречи с родственниками бывших сотрудников ИСЗФ: семьями Лузовых, Тресковых, Носовых, Мамченко.

4.11. Работа Совета научной молодежи Института

В состав Совета научной молодежи входит 10 человек, в том числе председатель к.ф.-м.н. А.А. Челпанов.

В 2023 г. состоялось 13 заседаний, где обсуждались организация и проведение мероприятий, молодежных семинаров, рассматривались кандидатуры для участия в конкурсах и грантах, проводились конкурсы на поддержку научных командировок молодых ученых ИСЗФ СО РАН и конкурсы поддержки научных публикаций в платных журналах.

Для молодых сотрудников института был проведен семинар с практическими советами по написанию научных статей и объяснениями особенностей процесса публикации работ в научных журналах.

Было проведено 18 англоязычных молодежных семинаров, на которых молодые сотрудники Института учились представлять научные и научно-популярные доклады на английском языке перед аудиторией и практиковали навыки разговорного английского языка. К участию в семинарах был привлечен специалист из группы переводчиков ИСЗФ.

Совместно с представителями пресс-службы Института был организован мастеркласс по написанию новостей на научные и околонаучные темы для страниц социальных сетей ИСЗФ.

К участию в областном конкурсе 2023 г. в сфере науки и техники рекомендована группа в составе Артема Шиховцева и Александра Киселева, которая по итогам конкурса вошла в число победителей.

Представитель Совета научной молодежи принял участие в Молодежном карьерном форуме (Сибэкспоцентр, 2–3 ноября), проводимом Министерством труда и занятости Иркутской области. В конкурсе на стипендию им. Алферова предложены аспиранты Александр Рубцов, Екатерина Смотрова, к.ф.-м.н. Данила Костарев.

К участию в конкурсе на присуждение премий губернатора в сфере молодежной политики были рекомендованы Максим Челпанов, Ольга Михайлова, Александр Рубцов, Данила Костарев, Артем Шиховцев. По итогам конкурса в число лауреатов вошли Михайлова, Костарев, Шиховцев.

К участию в конкурсе «Академина» — конкурсе среди женщин, работающих в научной сфере, проводимом Новосибирским региональным отделением общественной организации «Федерация женщин с университетским образованием» и ГПНТБ СО РАН — были предложены Екатерина Смотрова и София Серебренникова.

В конкурсе на премии выдающихся ученых СО РАН участвовали Ольга Михайлова,

Данила Костарев, Артем Шиховцев, Ольга Зоркальцева. Михайлова и Костарев представили доклады о своей работе на открытой научной сессии Объединенного ученого совета по физическим наукам СО РАН.

К участию в конкурсе на Премию Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых ученых был рекомендован Артем Шиховцев.

Для участия в конкурсе на именную стипендию губернатора Иркутской области аспирантам (адъюнктам) государственных образовательных организаций высшего образования и научных организаций в Иркутской области рекомендованы аспиранты Владимир Ивонин, Роман Марчук, Юлия Шамсутдинова, Александр Власов, Екатерина Смотрова, Руслан Каракотов.

Были проведены две научно-популярные лекции в государственной универсальной научной библиотеке им. И.И. Молчанова-Сибирского.

На постоянной основе СНМ проводит рассылку информации по электронной почте о новых конкурсах на получение грантов, стипендий и премий для молодых ученых. Регулярно рассылается информация о проводимых научных российских и международных конференциях и других мероприятиях.

В телеграм-канале https://t.me/snm_iszf представлена информация для молодых ученых, аспирантов, магистрантов о предстоящих мероприятиях, конкурсах, новостях, размещении шаблонов документов и др.

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 2023 г. СНМ поддержал 10 командировок молодых сотрудников Института.

СНМ участвовал в организации ежегодного поощрения лучших аспирантов по итогам годовой аттестации. СНМ ежегодно проводится конкурс премий аспирантов, основная задача которого состоит в повышении качества работы аспирантов.

СНМ участвует в организации досуга молодых ученых Института: были проведены вечера настольных игр и организованы походы выходного дня.

4.12. Проведение научных мероприятий

В 2023 г. 14 апреля в Институте прошла XII научная конференция школьников «Человек и космос», приуроченная к Дню космонавтики и посвященная 300-летию Российской академии наук. Организатором выступил ИСЗФ СО РАН при участии Иркутского государственного университета (ИГУ) и при информационной поддержке Министерства образования Иркутской области. 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. Впервые с 2020 г. конференция прошла в очном формате. В финальном устном этапе приняли участие учащиеся 7–11 классов (29 чел.) из Иркутска, Саянска, Усть-Илимска, Шелехова, Осы, Черемхово, Усолья-Сибирского а также Усольского и Тайшетского районов. В подготовке и проведении конференции принимали участие 12 сотрудников Института. В рамках конференции сотрудником Института В.П. Лебедевым была прочитана научнопопулярная лекция «Космический мусор». Участники, занявшие призовые места, были награждены призами.

С 10 по 13 мая 2023 г. в Институте прошло Совещание по разработке комплексных исследований климатических изменений с учетом влияния Солнца. С приветственным словом выступил акад. РАН, научный руководитель ИСЗФ СО РАН Жеребцов Г.А. Представлены следующие доклады:

• Молодых С.И., к.ф.-м.н. в.н.с., ИСЗФ СО РАН. Механизм влияния солнечной активности на высокоширотную тропосферу.

• Ковадло П.Г., д.ф.-м.н., с.н.с., ИСЗФ СО РАН. Особенности повышения температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария.

• Куличков С.Н., д.ф.-м.н. директор ИФА РАН (Москва). Эффекты влияния внутренних гравитационных волн на структуру термосферы.

• Ратовский К.Г., зав. лаб. к.ф.-м.н., ИСЗФ СО РАН. Эмпирическое моделирование и статистический анализ в ионосферных исследованиях.

• Медведева И.В., к.ф.-м.н. в.н.с., ИСЗФ СО РАН. Спектрометрические исследования температурного режима верхней атмосферы Земли в Восточной Сибири.

• Семенов В.А., акад. РАН зам. директора. ИФА РАН (Москва). Изменения климата нижней и верхней атмосферы.

• Гулев С.К., чл.-корр. РАН, рук. лабораторией ИО РАН (Москва). Роль океана в изменениях климата на различных временных масштабах.

• Кулямин Д.В., к.ф.-м.н. с.н.с. ИВМ РАН (Москва). Моделирование верхней атмосферы и ионосферы в ИВМ РАН.

• Клименко М.В., д.ф.-м.н. с.н.с., ИЗМИРАН (Калининград). Взаимовлияние эффектов явлений космической погоды и внутренней атмосферной изменчивости.

• Коваль А.В., д.ф.-м.н. с.н.с., СПбГУ (Петергоф). Крупномасштабная атмосферная динамика: долгопериодные естественные осцилляции и нелинейные взаимодействия глобальных атмосферных волн.

• Зоркальцева О.С., к.ф.-м.н. н.с., ИСЗФ СО РАН (Иркутск). Стратосферная динамика в условиях изменяющегося климата и ее эффекты в верхних слоях атмосферы.

В рамках совещания были проведены:

• выездное заседание в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН с докладом к.ф.-м.н. зав. лаб. Васильева Р.В. «Наблюдения параметров и динамики атмосферы наземными средствами ИСЗФ».

• экскурсия в Радиоастрофизическую обсерваторию ИСЗФ СО РАН.

По итогам совещания в Российскую академию наук было направлено письмо о необходимости создания объединенной лаборатории физики атмосферы и околоземного космического пространства.

С 15 по 20 сентября 2023 г. в Институте земной коры Сибирского отделения РАН прошла XIV Российско-Монгольская международная конференция по астрономии и геофизике «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона». Со-организаторами конференции явились также Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН, Сибирское отделение РАН и Институт астрономии и геофизики Академии наук Монголии. Конференция организована в рамках выполнения крупного проекта «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» (грант № 075-15-2020-787).

В работе конференции приняли участие более 220 специалистов из 5 стран (Россия, Монголия, Китай, Франция и Япония). Представлен 91 тезис докладов, в том числе от ученых дальнего и ближнего зарубежья. Заслушано 74 доклада на семи научных секциях. На стендовой сессии представлено 27 докладов.

Научные секции конференции:

- Физика Солнца и околоземного космического пространства;
- Космическая погода и климат;
- Геофизические поля и строение земной коры;
- Современная геодинамика;
- Мониторинг опасных геологических процессов;
- Сейсмичность и сильные землетрясения Монголо-Сибирского региона;
- Оценка сейсмической опасности и сейсмостойкое строительство.

Была проведена двухдневная полевая научная секция на полигоне комплексного мониторинга опасных геологических процессов «Бугульдейка» Института земной коры СО РАН.

Конференция является традиционной и проводится с начала 80-х гг. на базе Института земной коры СО РАН, Института солнечно-земной физики СО РАН или Института астрономии и геофизики Академии наук Монголии, которые являются партнерами по многолетним исследованиям многоплановых научных проблем, обусловленных солнечноземными взаимодействиями. Это партнерство зародилось в середине прошлого века, когда по приглашению правительства Монгольской Народной республики большая группа ученых Института земной коры работала в эпицентральной зоне катастрофического Гоби-Алтайского землетрясения (04.12.1957 г.). Обучение монгольских студентов в иркутских вузах, совместные исследования геологов, геофизиков, астрономов на территории Монголии и Восточной Сибири способствовали укреплению взаимных связей и выделению наиболее актуальных направлений исследований.

В представленных докладах обсуждались наиболее актуальные проблемы солнечноземных связей, литосферно-ионосферных взаимодействий, космической погоды и климата, современных движений, деформаций и напряженного состояния земной коры, сейсмичности и опасных геологических процессов и др. Направления «Физика Солнца и околоземного космического пространства» и «Космическая погода и климат» представлены результатами фундаментальных исследований, объединяющими проблемы влияния Солнца и ближнего космоса на геодинамические процессы в литосфере и климат Земли. Среди докладов были выступления, касающиеся прикладной проблемы изучения космического мусора и астероидов, представляющих опасность для человечества. В докладах по направлениям «Геофизические поля и строение земной коры» и «Современная геодинамика» рассматривались как фундаментальные проблемы геодинамики, так и подходы к решению практических задач. Широко представлено направление, связанное с мониторингом опасных геологических процессов, главным образом с сейсмичностью. Представленные материалы направлены на решение проблем, связанных с высокой сейсмической активностью территории Монголии и Восточной Сибири и разработкой мер по обеспечению сейсмобезопасности территорий.

Проводимое научное мероприятие способствует решению комплекса взаимосвязанных фундаментальных и прикладных проблем геодинамики Байкало-Монгольского региона с выходом на практическое использование полученных результатов для рационального освоения территории Восточной Сибири и Монголии.

4.13. Участие в выставках

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

- Сибирский радиогелиограф;
- Иркутский радар некогерентного рассеяния;
- 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 2023 г. сотрудники Института участвовали в следующих научных мероприятиях.

4.14.1. Российские:

1. 50-я Всероссийская с международным участием студенческая научная конференция «Физика космоса», 30 января — 03 февраля 2023 г., г. Екатеринбург.

2. 18-я ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 6–10 февраля 2023 г., ИКИ РАН, г. Москва.

3. XXXV сессия Российского акустического общества, 13-17 февраля 2023 г., г. Москва.

4. 46-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений», 13–17 марта 2023 г., г. Апатиты.

5. Десятая Всероссийская конференция с международным участием «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2023). 17–21 апреля 2023 г., г. Санкт-Петербург.

6. Х конференция молодых ученых «Океанологические исследования», 24–28 апреля 2023 г., г. Владивосток.

7. XXVIII Всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн», 16–19 мая 2023 г., г. Йошкар-Ола.

8. Межрегиональная научно-практическая конференция «Science Present and Future: Research Landscape in the 21st century», 18 мая 2023 г., ИНЦ СО РАН, г. Иркутск.

9. Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2023»), 29–31 мая 2023 г., ИЗМИРАН.

10. Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2023», 13–16 июня 2023 г., КрАО РАН, п. Научный.

11. Всероссийская конференция с международным участием «Физика звёзд: теория и наблюдения», 26–30 июня 2023 г., ГАИШ МГУ.

12. Всероссийские открытые Армандовские чтения. Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн», 27–29 июня 2023 г., г. Муром.

13. I Всероссийская школа по экспериментальной лабораторной астрофизике и геофизике для студентов и молодых ученых, 10–14 июля 2023 г., г. Саров, Нижегородская область.

14. Первая научная конференция им. М.И. Панасюка «Проблемы космофизики», 10–13 июля 2023 г., МГУ, Москва.

15. Всероссийская конференция «Современные инструменты и методы в астрономии». 04–09 сентября 2023 г., САО РАН.

16. IV Всероссийская научно-практическая конференция «Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле», посвященная 30-летнему юбилею Байкальского музея СО РАН, 25–29 сентября 2023 г., пос. Листвянка, Иркутская область.

17. XXVII Всероссийская ежегодная конференция «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023», 9–13 октября 2023 г., ГАО РАН, г. Санкт-Петербург.

18. XXI Всероссийская молодежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы, 14–18 ноября 2023 г., г. Самара.

19. Всероссийская научно-практическая конференция «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России», 23–25 ноября 2022 г., г. Иркутск.

4.14.2. Международные

1. The 81st International Scientific Conference of the University of Latvia 2023. Онлайн, февраль-май 2023 г.

2. Bridging New X-ray Observations and Advanced Models of Flare Variability: A Key to Understanding the Fundamentals of Flare Energy Release (ISSI Team). Швейцария, г. Берн, 6–10 марта 2023 г.

3. The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena". Россия, г. Апатиты, 13– 17 марта 2023 г.

4. XIX Международная выставка и научный конгресс «Электронное геопространство на службе общества». Россия, г. Новосибирск, 17–19 мая 2023 г.

5. Chapman Conference on Advances in Understanding Alfvén Waves in the Sun and the Heliosphere. Германия, г. Берлин, 28 мая–2 июня 2023 г.

6. Юбилейная XXX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. Россия, г. Санкт-Петербург, 29–31 мая 2023 г.

7. Международная научная конференция «Трансграничье Востока России в модернизационных процессах XX–XXI вв.», посвященная 100-летию Республики Бурятия. Россия, г. Улан-Удэ, 29 мая – 1 июня 2023 г.

8. VIII International Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety". Россия, г. Калининград, 4–9 июня 2023 г.

9. The 15th Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere". Болгария, г. Приморско, 5–9 июня 2023 г.

10. Waves and Instabilities in the Solar Atmosphere (WISA) 2023. Великобритания, г. Ньюкасл-апон-Тайн, 20–23 июня 2023 г.

11. Международный симпозиум по атмосферной радиации и динамике (МСАРД-2023). Россия, г. Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 г.

12. XXIX Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Россия, г. Москва, 26–30 июня 2023 г.

13. The 28th IUGG General Assembly (IUGG 2023). Германия, г. Берлин, 11–20 июля 2023 г.

14. IAU Symposium 365 "Dynamics of Solar and Stellar Convection Zones and Atmospheres". Армения, г. Ереван, 21–25 августа 2023 г.

15. IMCP 2023 International Workshop and Space Weather School. Китай, г. Пекин, 14– 23 сентября 2023 г.

16. Baltic Applied Astroinformatics and Space Data Processing (BAASP) 2023. Онлайн, 21–23 сентября 2023 г.

17. XVI Российско-Монгольская международная конференция по астрономии и геофизике «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона». Россия, г. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.

18. The 15th International Conference on Substorms. Китай, г. Дэцин, 15–20 октября 2023 г.

19. 21-я Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Россия, г. Москва, 13–17 ноября 2023 г.

20. International Symposium on Satellite Navigation (ISSN 2023). Китай, г. Цзяоцзо, 20–22 ноября 2023 г.

5. Публикации

5.1. Российские издания

1. Алтынцев А.Т., Глоба М.В., Мешалкина Н.С. Спокойная корона Солнца: ежедневные изображения на длинах волн 8.8–10.7 см // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 2. С. 71–77. DOI: 10.12737/szf-92202308.

2. Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Лесовой С.В., Жданов Д.А. Субсекундные импульсы в микроволновом излучении Солнца // УФН. 2023. Т. 193, № 7. С. 737–750. DOI: 10.3367/UFNr.2022.06.039205.

3. Афанасьев Н.Т., Лукьянцев Д.С., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Декаметровая радиодиагностика тонкой структуры ионосферы с высокоорбитальных ИСЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 4. С. 299–307. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-4-299-307.

4. Белоусова Е.П., Латышева И.В., Лощенко К.А., Олемской С.В. Современные особенности температурно-влажностного режима тропосферы в Сибирском секторе в различные циркуляционные периоды // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 1. С. 79–86. DOI: 10.12737/szf-91202309.

5. Богачев С.А., Головин А.А., Дятков С.Ю., Егорочкин К.А., Кириченко А.С., Кузин С.В., Перцов А.А., Тененбаум С.М., Шаханов А.Е. Малоразмерный космический магнитометр для наноспутника «Ярило» № 3 // Космонавтика и ракетостроение. 2023. № 1 (130). С. 123–134.

6. Боровик А.В. Солнечные вспышки малой мощности в линии Нα: результаты исследований // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. 2023. Т. 119, № 1. С. 27–41.

7. Боровик А.В., Жданов А.А. Динамика мелкомасштабных магнитных полей перед малыми и крупными солнечными вспышками // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 44–53. DOI: 10.12737/szf-94202305.

8. Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В., Семинский И.К. Информационная система для комплексных геофизических исследований в Байкальском регионе // Вычислительные технологии. 2023. Т.28, №6. С. 81–94. DOI: 10.25743/ ICT.2023.28.6.008.

9. Буренин Р.А., Зазнобин И.А., Медведев П.С., Гильфанов М.Р., Котов С.С., Уклеин Р.И., Додонов С.Н., Моисеев А.В., Еселевич М.В., Бикмаев И.Ф., Лыскова Н.С., Мещеряков А.В., Постнов К.А., Сазонов С.Ю., Старобинский А.А., Сюняев Р.А., Чуразов Е.М. Наблюдения массивных скоплений галактик из обзора всего неба телескопа еРОЗИТА на борту космической обсерватории СРГ // Письма в АЖ. 2023. Т. 49, № 1. С. 3–25.

10. Васильев Р.В., Тащилин М.А., Татарников А.В. Сопоставление динамики термальных точек и зарегистрированных лесных пожаров с динамикой молниевых разрядов на Байкальской природной территории // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, № 6. С. 37–45.

11. Григорьев В.М., Ермакова Л.В. Активные долготы и структура крупномасштабного магнитного поля в минимуме солнечной активности // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 30–37. DOI: 10.12737/szf-94202303.

12. Гульельми А., КлайнБ.И., Потапов А.С. О спектре ультранизкочастотных колебаний ионосферы в диапазоне РС1 // Геофизические исследования. 2023. Т. 24, № 1. С. 74– 84. DOI: 10.21455/gr2023.1-5.

13. Гульельми А., Клайн Б.И., Потапов А.С. Ультранизкочастотные резонаторы: к 80-летию открытия волн Альфвена // Астрон. вестник. 2023. Т. 57, № 4. С. 385–388. DOI: 10.31857/S0320930X23040047.

14. Данилова О.А., Птицына Н.Г., Тясто М.И., Сдобнов В.Е. Взаимосвязь параметров магнитосферы с жесткостью обрезания космических лучей в зависимости от широты // Космич. исслед. 2023. Т. 61, № 1. С. 21–30. DOI: 10.31857/S0023420623010028.

15. Данилова О.А., Птицына Н.Г., Тясто М.И., Сдобнов В.Е. Изменения жесткостей обрезания космических лучей во время бури 8–11 марта 2012 г. в период CAWSES-II //

Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 2. С. 86–93. DOI: 10.12737/szf-92202310.

16. Демидов М.Л., Напаока Ү., Sakurai Т. Крупномасштабные магнитные поля Солнца по наблюдениям в видимых и инфракрасных линиях и некоторые проблемы космической погоды // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. 2023. Т. 119, № 2. С. 25–33. DOI: 10.34898/izcrao-vol119-iss2-pp25-33; 13.11.2023.

17. Еселевич В.Г., Пархомов В.А. Роль альфа-частиц в проникновении диамагнитных структур солнечного ветра внутрь магнитосферы // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 3. С. 12–23. DOI: 10.12737/szf-93202302.

18. Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Машнич Г.П., Пархомов В.А. О формировании корональных выбросов массы с малыми скоростями // System Analysis and Mathematical Modeling. 2023. Т. 5, № 3. С. 288–302. DOI: 10.17150/2713-1734.2023.5(3).288-302.

19. Жданов Д.А., Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Анфиногентов С.А. Статистический анализ микровспышек по данным спектрополяриметра 4–8 ГГц // Солнечно земная физика. 2023. Т. 9, № 3. С. 111–121. DOI: 10.12737/szf-93202312.

20. Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Белинский А.А., Бикмаев И.Ф., Гильфанов М.Р., Додин А.В., Додонов С.Н., Еселевич М.В., Желтоухов С.Г., Иртуганов Э.Н., Котов С.С., Кривонос Р.А., Лыскова Н.С., Малыгин Е.А., Масленникова Н.А., Медведев П.С., Мещеряков А.В., Моисеев А.В., Опарин Д.В., Потанин М.С., Постнов К.А., Сазонов С.Ю., Сафонов Б.С., Сахибуллин Н.А., Старобинский А.А., Сусликов М.В., Сюняев Р.А., Татарников А.М., Усков Г.С., Уклеин Р.И., Хабибуллин И.И., Хамитов И.М., Хорунжев Г.А., Чуразов Е.М., Шабловинская Е.С., Шатский Н.И. Оптическое отождествление и спектроскопические измерения красных смещений 216 скоплений галактик из обзора всего неба СРГ/еРОЗИТА // Письма В АЖ. 2023. T. 49, № 11. C. 695–716. DOI: 10.31857/S0320010823110104.

21. Зоркальцева О. С., Антохина О.Ю., Антохин П.Н. Долговременная изменчивость параметров вназапных стратосферных потеплений по данным реанализа ERA5 // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т. 36, № 3. С. 200–208. DOI: 10.15372/АОО20230306.

22. Караханян А.А., Молодых С.И. Электрический потенциал ионосферы — альтернативный индикатор солнечного воздействия на нижнюю атмосферу // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 2. С. 111–115. DOI: 10.12737/szf-92202313.

23. Кичатинов Л.Л. Происхождение приповерхностного слоя неоднородного вращения Солнца // Письма в АЖ. 2023. Т. 49, № 11. С. 829–836. DOI: 10.31857/S0320010823110049.

24. Климушкин Д.Ю., Магер П.Н. Об определении понятия альфвеновской моды в неоднородном магнитном поле // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 1. С. 33–36. DOI: 10.12737/szf-91202304.

25. Ковалев И.И., Олемской С.В., Сдобнов В.Е., Дмитриева А.Н., Шутенко В.В. Мониторинг гелиосферы, магнитосферы и атмосферы по эффектам в космических лучах в августе 2018 года // Изв. РАН. Сер. физическая. 2023. Т. 87, № 7. С. 1028–1031.

26. Ковалев И.И., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Мониторинг параметров магнитосферы по эффектам в космических лучах в августе 2018 г. // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 3. С. 24–27. DOI: 10.12737/szf-93202303.

27. Коробцев И.В., Еселевич М.В. Предварительные результаты фотометрии геостационарных КА в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах // Научные труды ИНАСАН. 2023. Т. 8, № 4. С. 169–176. DOI: 10.51194/INASAN.2023.8.4.001.

28. Костарев Д.В., Пилипенко В.А., Козырева О.В. Геомагнитный мониторинг для снижения риска для трубопроводов от космической погоды // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Т. 13, № 1. С. 38–49. DOI: 10.28999/2541-9595-2023-13-1-38-49.

29. Кузин С.В., Богачев С.А., Кириченко А.С., Перцов А.А. Особенности разработки и использования аппаратуры для проведения космических экспериментов в ВУФдиапазоне спектра // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2023. № 12. С. 31–38. DOI: 10.31857/S1028096023120117. 30. Куркин В.И., Ильин Н.В., Пензин М.С., Пономарчук С.Н., Хахинов В.В. Моделирование КВ-радиоканала на основе волноводного подхода // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 91-103. DOI: 10.12737/szf-94202311.

31. Лобанов А.В., Язев С.А. К столетию планетария: миссия и проблемы // Земля и Вселенная. 2023. № 5. С. 81–90. DOI: 10.7868/S0044394823050080.

32. Луковникова А.А., Сдобнов В.Е. Параметры магнитосферных токовых систем во время геомагнитных возмущений в мае 1998 г. // Изв. РАН. Сер. физическая. 2023. Т. 87, № 7. С. 1052–1055.

33. Медведев А.В. Идти навстречу светилу // Наука и жизнь. 2023. № 11. С. 38–49.

34. Мешалкина Н.С., Алтынцев А.Т. Яркие ультрафиолетовые узлы как возможные источники когерентного микроволнового излучения // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 21–29. DOI: 10.12737/szf-94202302.

35. Мордвинов В.И., Девятова Е.В., Томозов В.М. Влияние магнитного поля и конфигурации среднего течения на пространственную структуру и скорость нормальных мод // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 134–144 . DOI:10.12737/szf-94202315.

36. Носов В.В., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Носов Е.В., Торгаев А.В. Доказательство гипотезы Хопфа о структуре турбулентности (памяти Татарского) // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т. 36, № 1. С. 12–18. DOI: 10.15372/АОО20230102.

37. Орехова Д.А., Попова И.Е., Коротаев С.М., Кругляков М.С., Буднев Н.М., Кириаков В.Х. Москалев И.С. Геоэлектрическая интерпретация данных магнитного мониторинга в юго-западной части Байкала // Физика Земли. 2023. № 5. С. 101–113. DOI: 10.31857/S0002333723050083.

38. Панков Н.С., Позаненко А., Минаев П., Белкин С.О., Вольнова А., Рева И.В., Серебрянский А.В., Кругов М.А., Нароенков С.А., Новичонок А.О., Жорниченко А.А., Румянцев В.В., Антонюк К., Эгамбердиев Ш.А., Бурхонов О., Клунко Е.В., Москвитин А., Молотов И.Е., Инасаридзе Р.Я. Хроматическое послесвечение гамма всплеска GRB 200829А // Письма в АЖ. 2023. Т. 49, № 3. С. 157–186. DOI: 10.31857/S0320010823030051.

39. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В., Семенов Г.В. Магнитные полости в солнечном ветре, их влияние на положение головной околоземной ударной волны и геомагнитную активность // System Analysis and Mathematical Modeling . 2023. Т. 5, № 1. С. 75–90. DOI: 10.17150/2713-1734.2023.5(1).75-90.

40. Перевалова Н.П., Ратовский К.Г., Жеребцов Г.А., Ясюкевич А.С. Корреляция короткопериодных волновых возмущений максимальной электронной концентрации в слое F2 и полного электронного содержания в ионосфере // ДАН. Науки и Земле. 2023. Т. 513, № 1. С. 120–125. DOI: 10.31857/S2686739723601709.

41. Перминов В.И., Перцев Н.Н., Далин П.А., Семенов В.А., Суходоев В.А., Медведева И.В., Железнов Ю.А. Отклик собственного излучения области мезопаузы на короткопериодические изменения солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия. 2023. Т. 63, № 1. С. 63–72. DOI: 10.31857/S0016794022060116.

42. Поляченко Е.В., Шухман И.Г. Масштабно-инвариантная мода в бесстолкновительных сферических звездных системах // Астрон. журн. 2023. Т. 100, № 11. С. 1023– 1032. DOI: 10.31857/S0004629923110087.

43. Потапов А.С., Полюшкина Т.Н., Гульельми А., Ратовский К.Г., Москалев И.С. Спектральный анализ излучения ИАР для определения величины и изменчивости максимума электронной концентрации NmF2 // Солнечно земная физика. 2023. Т. 9, № 3. С. 47– 57. DOI: 10.12737/szf-93202306.

44. Салимов Б.Г., Бернгардт О.И., Хмельнов А.Е., Ратовский К.Г., Кусонский О.А. Применение сверточных нейронных сетей для прогнозирования критической частоты FOF2 // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 1. С. 60–72. DOI: 10.12737/szf-91202307.

45. Семинский И.К., Семинский А.К., Поспеев А.В., Рустамова Ф.Р. Комплекс геофизических методов для изучения глубинного строения Ангарского разлома крупнейшего разрывного нарушения Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2023. Т. 64, № 9. С. 1357–1365.

46. Семинский И.К., Александрова А.Ю., Гомульский В.В., Лапушкин М.Ю., Афанасьева А.А., Агафонов Ю.А., Лунина О.В., Денисенко И.А. Комплекс инженерногеофизических методов для определения объемов однородных промышленных отходов, размещенных в объектах накопленного экологического вреда // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27, № 11. С. 39–45. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-11-39-45.

47. Сетов А.Г., Кушнарев Д.С. Корреляционный анализ абсолютных измерений солнечного потока на частотах 161 и 245 МГц // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 54–62. DOI: 10.12737/szf-94202306.

48. Токарева Л.С., Скоморовский В.И., Кушталь Г.И. Электрооптические модуляторы ИСЗФ для наблюдений магнитных полей на Солнце // Изв. Крымской Астрофиз. Обс. 2023. Т. 119, № 4. С. 42–48. DOI:10.34898/izcrao-vol119-iss4-pp42-48.

49. Томозов В.М., Минасянц Г.С., Минасянц Т.М. Особенности развития высокоэнергичного гамма-излучения во время импульсной фазы солнечных вспышек. Некоторые характеристики потоков протонов высоких энергий во вспышках с продолжительным гамма-излучением // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. DOI:10.12737/szf-94202304.

50. Турова И.П., Григорьева С.А., Ожогина О.А. Линии СаІІ в спокойной области на Солнце. І. Динамические процессы в солнечной атмосфере // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 2. С. 12–25. DOI: 10.12737/szf-92202302.

51. Усков Г.С., Сазонов С.Ю., Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Гильфанов М.Р., Медведев П.С., Сюняев Р.А., Кривонос Р.А., Филиппова Е.В., Хорунжев Г.А., Еселевич М.В. Новые активные ядра галактик, обнаруженные телескопами ART-XC и еРОЗИТА в ходе первых пяти рентгеновских обзоров всего неба обсерваториями СРГ // Письма в АЖ. 2023. Т. 49, № 2. С. 97–121. DOI: 10.31857/S0320010823020043.

52. Хабитуев Д.С., Черниговская М.А. Ретроспективный анализ многолетних региональных особенностей динамического режима ионосферы над югом Восточной Сибири // Солнечно земная физика. 2023. Т. 9, № 3. С. 83–92. DOI: 10.12737/szf-93202309.

53. Хабитуев Д.С., Шпынев Б.Г. Циркуляционные структуры в полярной стратосфере Северного полушария во время зим 2019–2021 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 5. С. 307–316. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-307-316.

54. Хорунжев Г.А., Сазонов С.Ю., Медведев П.С., Гильфанов М.Р., Атапин К.Е., Белинский А.А., Возякова О.В., Додин А.В., Сафонов Б.С., Татарников А.М., Бикмаев И.Ф., Буренин Р.А., Додонов С.Н., Еселевич М.В., Зазнобин И.А., Кривонос Р.А., Уклеин Р.И., Постнов К.А., Сюняев Р.А. Поиск событий приливного разрушения на основе обзора СРГ/ еРОЗИТА с последующей оптической спектроскопией // Письма в АЖ. 2023. Т. 49, № 1. С. 65–87.

55. Черниговская М.А., Хабитуев Д.С. Многолетние вариации скоростей дрейфа ионизации над югом Восточной Сибири // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 3. С. 285–297. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-285-297.

56. Черниговская М.А., Ясюкевич А.С., Хабитуев Д.С. Долготная изменчивость ионосферы северного полушария во время магнитных бурь в марте 2012 года по данным ионозондов и GPS/ГЛОНАСС // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 108–120. DOI: 10.12737/szf-94202313.

57. Язев С.А., Исаева Е.С., Хос-Эрдэнэ Б. 25-й цикл солнечной активности: первые три года // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 3. С. 5–11. DOI: 10.12737/szf-93202301.

58. Язев С.А. Транзиты Венеры: как определялось расстояние до Солнца // Земля и Вселенная. 2023. № 4. С. 61–72. DOI: 10.7868/S0044394823040059.

59. Язев С.А., Томозов В.М. К вопросу о локализации мест рождения КВМ на

Солнце // Астрон. журн. 2023. Т. 100, № 11. С. 1069–1080. DOI: 10.31857/S0004629923100080.

60. Якимчук А.И. Рубцов А.В., Климушкин Д.Ю. Распределение поляризации поперечных УНЧ-волн по данным Van Allen Probe А: существуют ли раздельно тороидальные и полоидальные волны в магнитосфере? // Солнечно-земная физика. 2023. Т. 9, № 4. С. 80–85. DOI: 10.12737/szf-94202309.

5.2 Зарубежные издания (включая переводные)

1. Afanasyev A.N., Fan Y., Kazachenko M.D., Cheung M.C.M. Hybrid data-driven magnetofrictional and magnetohydrodynamic simulations of an eruptive solar active region // Astrophys. J. 2023. Vol. 952, no. 2. P. 136. DOI: 10.3847/1538-4357/acd7e94.

2. Altyntsev A.T., Reid H.A.S., Meshalkina N.S., Myshyakov I.I., Zhdanov D.A. Temporal and spatial association between microwaves and type III bursts in the upper corona // Astron. Astrophys. 2023. Vol. 671. A30. https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244599.

3. Altyntsev A.T., Globa M.V., Meshalkina N.S. Quiet solar corona: daily images at 8.8–10.7 cm wavelengths // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 2. P. 66–72. DOI: 10.12737/stp-92202308.

4. Antokhina O., Antokhin P.N., Belan B.D., Tarabukina L.D., Devyatova E.V. Effects of Rossby waves breaking and atmospheric blocking formation on the extreme forest fire and floods in Eastern Siberia 2019 // Fire. 2023. Vol.6, no. 3. # 122. DOI: 10.3390/fire6030122.

5. Antokhina O., Antokhin P.N., Zorkaltseva O.S., Bobrovnikov S.M., Zharkov V., Trifonov D. Characteristics of the dynamics and relationships of the troposphere and stratosphere in the winter period 2022-2023 // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127804Q. DOI: 10.1117/12.2688249.

6. Belousova E.P., Latysheva I.V., Loshchenko K.A., Olemskoy S.V. Current status of the temperature and humidity regime of the troposphere in the Siberian sector in different circulation period // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no.1. P. 73–79. DOI: 10.12737/stp-91202309.

7. Bol'basova D., Shikhovtsev A.Yu., Ermakov S. Statistics of precipitable water vapour above the sites of the 6-m Big Telescope Alt-azimuthal and new 3-m Large Solar Telescope using ERA5 data // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 2023. Vol. 520, no. 3. P. 4336–4344. DOI: 10.1093/mnras/stad300.

8. Borovik A.V., Zhdanov A. Dynamics of small-scale magnetic fields before small and large solar flares // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 4. P. 37–45. DOI: 10.12737/stp-94202305.

9. Brandenburg A., Elstner D., Masada Y., Pipin V.V. Turbulent Processes and Mean-Field Dynamo // Space Science Reviews. 2023. Vol. 219, no. 7. P. 55. DOI: 10.1007/s11214-023-00999-3.

10. Chernigovskaya M.A., Yasyukevich A., Khabituev D.S. Ionospheric longitudinal variability in the Northern Hemisphere during magnetic storms in March 2012 from ionosonde and GPS/GLONASS data // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 4. P. 99–110. DOI: 10.12737/stp-94202313.

11. Chudaev S.O., Afanasiev N.T., Lukyantsev D., Tanaev A. Diagnostics of the integral parameters of the upper atmosphere's thin structure from radio-beacons' data // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 1278078. DOI: 10.1117/12.2690298.

12. Churilov S. M. Traveling internal waves in a two-layer shallow medium with variable bathymetry and current // Physics of Fluids. 2023. Vol. 35, no. 2. P. 026602. DOI: 10.1063/5.0136422.

13. Churilov S.M. Traveling internal waves in a two-layer shallow medium with variable bathymetry and current: Surface and near-bottom flows // Physics of Fluids. 2023. Vol. 35, no. 7. P. 076613. DOI: 10.1063/5.0160207.

14. Danilova O.A., Ptitsyna N.G., Tyasto M.I., Sdobnov V.E. The relationship of magne-

tospheric parameters with cosmic-ray cutoff rigidities depending on latitude // Cosmic Res.. 2023. Vol. 61, no. 1. P. 18–26. DOI: 10.1134/S0010952523010021.

15. Danilova O.A., Ptitsyna N.G., Tyasto M.I., Sdobnov V.E. Variations in cosmic ray cutoff rigidities during the March 8–11, 2012 magnetic storm (CAWSES II period) // Solar-Terrestrial Phys. 2023. Vol. 9, no. 2. P. 81–87. DOI: 10.12737/stp-92202310.

16. Demidov M.L., Hanaoka Y., Wang X.F., Kirichkov P. On the differences in the ambient solar wind speed forecasting caused by using synoptic maps from different observatories // Solar Phys. 2023. Vol. 298, no. 10. P. 120. DOI: 10.1007/s11207-023-02206-6.

17. Demyanov V.V., Danilchuk E.I., Sergeeva M.A., Yasyukevich Yu.V. An increase of GNSS data time rate and analysis of the carrier phase spectrum // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, no. 3. # 792. DOI: 10.3390/rs15030792.

18. Dmitriev D., Ermolaeva T., Grinin V.P., Potravnov I.S. Magnetospheric accretion at the late phases of the pre-main-sequence evolution: the case of RZ Psc // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 2023. Vol. 520, no. 3. P. 3706–3711. DOI: 10.1093/mnras/stad334.

19. Dobrynin V.A. Technologies and measurement features applied at Eastern Siberia infrasound station // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127806E. DOI: 10.1117/12.2690932.

20. Driga M.B., Kovadlo P.G., Kiselev A.V., Russkikh I.V., Kolobov D.Y. Method for determining the wavefront distortions from the Shack-Hartmann sensor measurements // Proceedings SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127800B. DOI: 10.1117/12.2688319.

21. Eselevich V.G., Parkhomov V.A. Role of alpha particles in penetration of solar wind diamagnetic structures into the magnetosphere // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 3. P. 10–20. DOI: 10.12737/stp-93202302.

22. Fedenev V.V., Anfinogentov S., Fleishman G.D. Strongest coronal magnetic fields in solar cycles 23–24: probing, statistics, and implications // Astrophys. J. 2023. Vol. 943, no. 2. # 160. DOI: 10.3847/1538-4357/acac33.

23. Fillion M., Chulliat A., Alken P., Kruglyakov M., Kuvshinov A. A model of hourly variations of the near-Earth magnetic field generated in the inner magnetosphere and its induced counterpart // J. Geophys. Res. 2023. Vol. 128, no. 12. P. e2023JA031913. DOI: 10.1029/2023JA031913.

24. Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. Features of the structure and dynamics of the active region 12673 associated with flares // Geomagnetism and Aeronomy. 2023. Vol. 63, no. 7. P. 975–983. DOI: 10.1134/S0016793223070083.

25. Grechnev V.V., Kochanov A.A., Uralov A.M. Eruptive flare, CME, and shock wave in the 25 August 2001 high-energy solar event // Solar Phys. 2023. Vol. 298, no. 3. P. 49. DOI: 10.1007/s11207-023-02144-3.

26. Golubeva E.M., Biswas A., Khlystova A.I., Kumar P., Karak B.B. Probing the variations in the timing of the Sun's polar magnetic field reversals through observations and surface flux transport simulations // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 2023. Vol. 525, no. 2. P. 1758–1768. DOI: 10.1093/mnras/stad2254.

27. Grigoriev V.M., Ermakova L.V. Active longitudes and the structure of the large-scale magnetic field at solar minimum // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 4. P. 25–31. DOI: 10.12737/stp-94202303.

28. Guglielmi A., Klain B.I., Potapov A.S. On the spectrum of ultra-low frequency oscillations of the ionosphere in the Pc1 range // Geophys. Res. 2023. Vol. 24, no. 1. P. 74–84. DOI: 10.21455/GR2023.1-5.

29. Guglielmi A., Klain B.I., Potapov A.S. Ultralow frequency resonators: on the 80th anniversary of the discovery of Alfvén waves // Solar System Res. 2023. Vol. 57, no. 4. P. 399–402. DOI: 10.1134/S0038094623040044.

30. Hazra G., Nandy, D., Kitchatinov L.L., Choudhuri A.R. Mean field models of flux transport dynamo and meridional circulation in the Sun and stars // Space Sci. Rev. 2023. Vol.

219, no. 5. P. 39. DOI: 10.1007/s11214-023-00982-y.

31. Ivanova V.A., Podlesnyi A.V., Rybkina A.A., Poddelsky A.I. Automatic processing of lowest observed frequencies using oblique incidence sounding data during solar X-ray flares // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127807D . DOI: 10.1117/12.2690726.

32. Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Ionospheric electric potential as an alternative indicator of solar effect on the lower atmosphere // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 2. P. 103–106. DOI: 10.12737/stp-92202313.

33. Karakhanyan A.A., Molodykh S.I. Possibility to apply ionospheric electric potential in the problem of solar-troposphere relations // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 1278070. DOI: 10.1117/12.2689536.

34. Khabituev D.S., Chernigovskaya M.A. Retrospective analysis of long-term regional features of the dynamic regime of the ionosphere over the south of Eastern Siberia // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 3. P. 77–85. DOI: 10.12737/stp-93202309.

35. Klimenko M., Klimenko V.V., Sukhodolov T., Bessarab F.S., Ratovsky K.G., Rozanov E.V. Role of internal atmospheric variability in the estimation of ionospheric response to solar and magnetospheric proton precipitation in January 2005 // Adv. Space Res. 2023. Vol. 71, no. 11. P. 4576–4586. DOI: 10.1016/j.asr.2023.01.012.

36. Klimushkin D., Mager P. Definition of the Alfven mode in inhomogeneous magnetic field // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 1. P. 31–33. DOI: 10.12737/stp-91202304.

37. Kostarev D.V., Pilipenko V.A., Kozyreva O.V. Geomagnetic monitoring to mitigate risk to pipelines from space weather // Science and Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation. 2023. Vol. 13, no. 1. P. 38–49. DOI: 10.28999/2541-9595-2023-13-1-38-49.

38. Kovalev I.I., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E., Dmitrieva A.N., Shutenko V.V. Monitoring heliosphere, magnetosphere, and atmosphere via cosmic ray effects in 2018 August // Bull. Russian Academy of Sciences: Physics. 2023. Vol. 87, no. 7. P. 958–961. DOI: 10.3103/S1062873823702556.

39. Kovalev I.I., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. Monitoring of magnetospheric parameters based on cosmic ray effects in August 2018 // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 3. P. 21–24. DOI: 10.12737/stp-93202303.

40. Kovalev I.I., Kravtsova M., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E., Dmitrieva A.N., Shutenko V.V. Cosmic ray variations of magnetospheric and atmospheric origin in September 2017 // Physics of Atomic Nuclei. 2023. Vol. 86, no. 6. P. 1119–1124. DOI: 10.1134/S1063778824010253.

41. Kravtsova M., Sdobnov V.E. Cosmic Ray Ground Level Enhancement on August 24, 1998 // Bull. Russian Academy of Sciences: Physics. 2023. Vol. 87, no. 7. P. 1063–1065. DOI: 10.3103/S1062873823702428.

42. Kurkin V.I., Ilyin N.V., Penzin M.S., Ponomarchuk S.N., Khakhinov V.V. HF radio channel modeling by a waveguide approach // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 4. P. 83–94. DOI: 10.12737/stp-94202311.

43. Kuzin S., Bogachev S., Pertsov A., Loboda I., Chervinsky V., Chkhalo N., Lopatin A., Malyshev I., Pestov A., Pleshkov R., Polkovnikov V., Toropov M. EUV telescope for a Cubesat nanosatellite // Applied Optics. 2023. Vol. 62, no. 31. P. 8462–8471. DOI:10.1364/AO.501437.

44. Kuzin S., Bogachev S., Kirichenko A.S., Pertsov A. Specific aspects of the design and use of instruments for space VUV experiments // J. Surface Investigation. Vol. 17, no. 6. P. 1343–1349. DOI: 10.1134/S1027451023060332.

45. Kuznetsov A.A., Karakotov R.R., Chandrashekhar K., Banerjee D. X-Ray and ultraviolet flares on AT microscopii observed by AstroSat // Res. Astron. Astrophys. 2023. Vol. 23, no. 1. P. 015006. DOI: 10.1088/1674-4527/aca190.

46. Lavygin I.A., Berngardt O.I., Shepherd S. Study of the spectral composition of waves in the lower ionospheric layers according to the data of the SuperDARN and SEKIRA radars us-

ing the ARIMA model // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127807L. DOI: 10.1117/12.2690977.

47. Liu J., Shiokawa K., Oyama S.-I., Otsuka Y., Jun C.W., Nose M., Nagatsuma T., Sakaguchi K., Kadokura A., Ozaki M., Connors M., Baishev D.G., Nishitani N., Oinats A.V., Kurkin V.I., Raita T. A statistical study of longitudinal extent of Pc1 pulsations using seven PWING ground stations at subauroral latitudes // J. Geophys. Res. 2023. Vol. 128, no. 1. # e2021JA029987. DOI: 10.1029/2021JA029987.

48. Lukovnikova A.A., Sdobnov V.E. Parameters of magnetospheric current systems during geomagnetic disturbances of May, 1998 // Bull. Russian Academy of Sciences: Physics. 2023. Vol. 87, no. 7. P. 981–984 . DOI: 10.3103/S106287382370257X.

49. Lysenko A., White S.M., Zhdanov D.A., Meshalkina N.S., Altyntsev A.T., Motorina G., Fleishman G.D. Cold Solar Flares. I. Microwave Domain // Astrophys. J. 2023. Vol. 954, no. 2. P. 122. DOI: 10.3847/1538-4357/acea20.

50. Martinez-Calderon C., Oonishi T., Shiokawa K., Manninen J., Oinats A.V., Ozaki M. Characteristics and longitudinal extent of VLF quasi-periodic emissions using multi-point ground-based observations // Earth, Planets and Space. 2023. Vol. 75, no. 1. P. 148. DOI: 10.1186/s40623-023-01898-1.

51. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Multi-year variations in temperature in mesopause region and F2-region peak electron density over Eastern Siberia // Atmosphere. 2023. Vol. 14, no. 2. # 391. DOI: 10.3390/atmos14020391.

52. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Comparative analysis of the effect of geomagnetic storms on characteristics of hydroxyl (6-2) emission and $N_{\rm m}$ F2 peak electron density // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 1278076. DOI: 10.1117/12.2690257.

53. Melnikov V.F., Meshalkina N.S. Expansion and compression of a flare loop system during the flare on January 15, 2022 according to ultraviolet and microwave data // Geomagnetism and Aeronomy. 2023. Vol. 63, no. 7. P. 1054–1061. DOI: 10.1134/S0016793223070162.

54. Meshalkina N.S., Altyntsev A.T. Bright ultraviolet knots as possible sources of coherent microwave radiation // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 4. P. 17–24. DOI: 10.12737/stp-94202302.

55. Mordvinov V.I., Devyatova E.V., Tomozov V.M. Influence of the magnetic field and the mean flow configuration on spatial structure and growth rate of normal modes // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 4. P. 123–135. DOI: 10.12737/stp-94202315.

56. Motyk I., Kashapova L.K., Setov A., Shamsutdinova Yu.N., Kupriyanova E.G. Quick event during the decay phase of the microwave emission of a flare on May 22, 2021 // Geomagnetism and Aeronomy. 2023. Vol. 63, no. 7. P. 1062–1071. DOI: 10.1134/S0016793223070174.

57. Ning H., Chen Y., Li C., Ye S., Kuznetsov A.A., Wu S. Excitation of extraordinary modes inside the source of Saturn's kilometric radiation // Astron. Astrophys. 2023. Vol. 678. P. A94. DOI: 10.1051/0004-6361/202347149.

58. Nita G.M., Fleishman G.D., Kuznetsov A.A., Anfinogentov S., Stupishin A., Kontar E.P., Schonfeld S.J., Klimchuk J.A., Gary D. Data-constrained solar modeling with GX Simulator // Astrophys. J. Suppl. Ser. 2023. Vol. 267, no. 1. P. 6. DOI: 10.3847/1538-4365/acd343.

59. Nosov V.V., Lukin V.P., Kovadlo P.G., Nosov E.V., Torgaev A.V. Proof of Hopf's conjecture on the structure of turbulence (in memory of Tatarsky) // Atmospheric and Oceanic Optics. 2023. Vol. 36, no. 4. P. 300–305. DOI: 10.1134/S1024856023040139.

60. Orekhova D.A., Popova I.V., Korotaev S.M., Kruglyakov M.S., Budnev N.M., Kiriakov V., Moskalev I.S. Geoelectric Interpretation of the magnetic monitoring data in the southwest part of Baikal // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2023. Vol. 59, no. 5. P. 753–764. DOI: 10.1134/S1069351323050087.

61. Pankov N.S., Pozanenko A.S., Minaev P., Belkin S.O., Volnova A., Reva I., Serebryanskii A.V., Krugov M.A., Naroenkov S.A., Novichonok A., Zhornichenko A.A., Rumyantsev V.V., Antonyuk K.A., Egamberdiev Sh., Burkhonov O.A., Klunko E., Moskvitin A.S., Molotov I.E., Inasaridze R. Chromatic Afterglow of GRB 200829A // Astronomy Lett. 2023. Vol. 49, no. 3. P. 81–109. DOI: 10.1134/S1063773723030052.

62. Perevalova N.P., Dobrynina A.A., Shestakov N.V., Meng G., Wu W., Sankov A. Seismic and ionospheric disturbances caused by the 3 September 2017 underground nuclear test in North Korea // Adv. Space Res. 2023. Vol. 71, no. 12. P. 5121–5134. DOI: 10.1016/j.asr.2023.02.005.

63. Perevalova N.P., Ratovsky K.G., Yasyukevich A. Correlation relations of long-wave disturbances in the upper atmosphere // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 1278074. DOI: 10.1117/12.2690244; 17 October 2023.

64. Perevalova N.P., Ratovsky K.G., Zherebtsov G.A., Yasyukevich A. Correlation of short-period wave disturbances of the peak electron density of the F2 layer and the total electron content in the ionosphere // Doklady. Earth Sciences. 2023. Vol. 513. DOI: 10.1134/S1028334X2360192X.

65. Petrashchuk A.V., Anfinogentov S., Fedenev V.V., Mager P., Klimushkin D. Dispersion and spatial structure of the coupled Alfvén and slow magnetosonic oscillations in the Solar corona // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 2023. Vol. 525, no. 4. P. 5669–5676. DOI: 10.1093/mnras/stad2635.

66. Petrashchuk A.V., Mager P., Klimushkin D. Dispersion and spatial structure of coupled Alfvén and slow magnetosonic modes in the dipole magnetosphere // Physics of Plasmas. 2023. Vol. 30, no. 11. P. 112904. DOI: 10.1063/5.0165125.

67. Pilipenko V.A., Chernikov A.A., Soloviev A.A., Yagova N.V., Sakharov Ya.A., Kudin V., Kostarev D.V., Kozyreva O.V., Vorobev A.V., Belov A.V. Influence of Space Weather on the Reliability of the Transport System Functioning at High Latitudes // Russian J. Earth Sciences. 2023. Vol. 23, no. 2. P. ES2008. DOI: 10.2205/2023ES000824.

68. 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 // Astrophys. J. 2023. Vol. 949, no. 1. P. 7. DOI: 10.3847/1538-4357/acaf69.

69. Pipin V.V. Spatio-temporal non-localities in a solar-like mean-field dynamo // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 2023. Vol. 522, no. 2. P. 2919–2927. DOI: 10.1093/mnras/stad1150.

70. Polyachenko E.V., Shukhman I.G. Scale-invariant mode in collisionless spherical stellar systems // Astron. Rep. 2023. Vol. 67, no. 11. P. 1156–1164. DOI: 10.1134/S1063772923110082.

71. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P., Kotovich G.V. Technique of ionospheric parameters automatic determination from data of vertical sounding with a continuous chirp signal // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127806Q. DOI: 10.1117/12.2688438.

72. Ponomarchuk S.N., Grozov V.P. Automatic interpretation of ionograms of oblique sounding with a continuous chirp signal based on hybrid algorithms // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127806R. DOI: 10.1117/12.2688445.

73. Potapov A.S., Polyushkina T., Guglielmi, Ratovsky K.G., Moskalev I.S. Spectral analysis of IAR oscillations to determine the value and variability of the peak electron density $N_{\rm m}$ F2 // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 3. P. 43–53. DOI: 10.12737/stp-93202306.

74. Potravnov I.S., Mashonkina L.I., Ryabchikova T.A. BD+30°549: young helium-weak silicon star in NGC 1333 star-forming region // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 2023. Vol. 520, no. 1. P. 1296–1310. DOI: 10.1093/mnras/stad193.

75. Potravnov I.S., Ryabchikova T.A., Artemenko S.A., Eselevich M.V. Pre-main sequence Ap star LkH α 324/B in LDN 988 star forming region // Universe. 2023.Vol. 9, no. 5. P. 210. DOI: 10.3390/universe9050210.

76. Ptitsyna N.G., Danilova O.A., Tyasto M.I., Sdobnov V.E. Cosmic ray cutoff rigidity

governing by solar wind and magnetosphere parameters during the 2017 Sep 6–9 solar-terrestrial event // J. Atm. Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 246. P. 106067. DOI: 10.1016/j.jastp.2023.106067.

77. Ratovsky K.G., Medvedeva I.V. Local empirical model of ionospheric variability // Adv. Space Res. 2023. Vol. 71, no. 5. P. 2299–2306. DOI: 10.1016/j.asr.2022.10.065.

78. Rubtsov A.V., Nosé M., Matsuoka A., Kasahara Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Shinohara K., Miyoshi Y. Alfvén velocity sudden increase as an indicator of the plasmapause // J. Atm. Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 245. #106040. DOI: 10.1016/j.jastp.2023.106040.

79. Rubtsov A.V., Nosé M., Matsuoka A., Kasahara Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Shinohara I., Miyoshi Y. Plasmasphere control of ULF wave distribution at different geomagnetic conditions // J. Geophys. Res. 2023. Vol. 128, no. 10. P. e2023JA031675. DOI: 10.1029/2023JA031675.

80. Rubtsov A.V., Nosé M., Matsuoka A., Shinohara I., Miyoshi Y. Polarization and spatial distribution features of Pc4 and Pc5 waves in the magnetosphere // J. Geophys. Res. 2023. Vol. 128, no. 10. P. e2023JA031674. DOI: 10.1029/2023JA031674.

81. Salimov B.G., Berngardt O.I., Khmelnov A.E., Ratovsky K.G., Kusonsky O.A. Application of convolution neutral networks for critical frequency f_0 F2 prediction // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 1. P. 56–67. DOI: 10.12737/stp-91202307.

82. Saunkin A.V., Vasilyev R.V., Zorkaltseva O.S., Artamonov M., Mikhalev A.V. Climatology of atmospheric parameters in mesosphere — lower thermosphere region of the southern of Eastern Siberia // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127807E. DOIU: 10.1117/12.2690774.

83. Sautter R.A., Rosa R.R., Sych R.A., Sawant H.S., Bisoi S.K. Gradient pattern analysis of the solar active region NOAA 11131 // Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira. 2023. Vol. 34, no. 1: Proc. da XLV Reunião Anual da SAB. P. 231–232. https://sab-astro.org.br/wp-content/uploads/2023/04/ParaProceedings-8.pdf.

84. Seminsky I.K., Seminsky A.K., Pospeev A.V., Rustamova F.R. Integration of geophysical methods to study deep structure of the Angara fault, the largest in the Baikal Rift // Russian Geology and Geophysics. 2023. Vol. 64, no. 9. P. 1132–1139. DOI: 10.2113/RGG20234539.

85. Seminskiy I.K., Aleksandrova A.Yu., Gomulsky V.V., Lapushkin M.Yu., Afanasieva A.A., Agafonov Yu.A., Lunina O.V., Denisenko I.A. Set of engineering and geophysical methods for determining the volume of homogeneous industrial waste at sites of accumulated environmental harm // Ecology and Industry of Russia. 2023. Vol. 27, no. 11. P. 39–45. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-11-39-45.

86. Sergeeva M.A., Maltseva O.A., Vesnin A.M., Blagoveshchensky D., Gatica-Acevedo V., Americo Gonzalez-Esparza J., Chernov A.G., Orrala-Legorreta I.D., Melgarejo-Morales A., Xavier Gonzalez L., Rodriguez-Martinez M., Aguilar-Rodriguez, E., Andrade-Mascote, E., Villanueva P. Solar flare effects observed over Mexico during 30–31 March 2022 // Remote sensing. 2023. Vol. 15, no. 2. P. 397. DOI: 10.3390/rs15020397.

87. Setov A., Kushnarev D.S. Correlation analysis of solar flux absolute measurements at 161 and 245 MHz // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 4. P. 46–54. DOI: 10.12737/stp-94202306.

88. Shikhovtsev A. Yu., Kovadlo P.G., Lezhenin A.A., Korobov O., Kiselev A.V., Russkikh I.V., Kolobov D.Y., Shikhovtsev M.Yu. Influence of atmospheric flow structure on optical turbulence characteristics // Applied Sci. 2023. Vol. 13, no. 3. # 1282. DOI: 10.3390/app13031282.

89. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Lezhenin A.A., Gradov V.S., Zaiko P.O., Khitrukau M.A., Kirichenko K., Driga M., Kiselev A.V., Russkikh I.V., Obolkin V.A., Shikhovtsev M.Yu. Simulating Atmospheric characteristics and daytime astronomical seeing using weather research and forecasting model // Applied Sci. 2023. no. 13 (10). P. 6354. DOI: 10.3390/app13106354.

90. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Kiselev A.V., Eselevich M.V., Lukin V.P. Applica-

tion of neural networks to estimation and prediction of seeing at the Large Solar Telescope site // Publ. Astron. Society of the Pacific. 2023. Vol. 135, no. 1043. # 014503. DOI: 10.1088/1538-3873/acb384.

91. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G. Atmospheric boundary layer and free atmosphere: Dynamics, physical processes, and measuring methods // Atmosphere. 2023. Vol. 14, no. 2. # 328. DOI: 10.3390/atmos14020328.

92. Shikhovtsev A.Yu., Khaikin V., Kovadlo P.G., Baron P. Optical thickness of the atmosphere above the Terskol Peak // Atmos. Oceanic Opt. 2023. Vol. 36, no. 1. P. 78–85. DOI: 10.1134/S1024856023020148.

93. Shikhovtsev A.Yu., Kovadlo P.G., Chuprakov S.A., Lukin V.P. Correction of wavefront distortions in wide-field adaptive optics systems // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127800C. DOI: 10.1117/12.2688320.

94. Shikhovtsev A.Yu. Precipitatable water vapor at some sites suitable for ground-based astronomical observations: Lake Karakul // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127800Q. DOI: 10.1117/12.2689802.

95. Shikhovtsev A.Yu., Ibrahimov M., Kirichenko K., Kopylov E.A., Kovadlo P.G. Features of global distributions of precipitable water vapor using Era-5 re-analysis data // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127800R. DOI: 10.1117/12.2689803.

96. Shirov G., Tsvetkov T., Karakhanyan A.A., Petrov N. Wavelet analysis of the nearsurface air temperature, cloudiness and precipitation in Bulgaria // Proc. Science. 2023. Vol. 427: 11th International Conference of the Balkan Physical Union. Belgrade, 2022 . P. 036.

97. Smotrova E.E., Mager P., Mikhailova O.S., Klimushkin D. Diagnostics of the ionospheric conductivity based on spacecraft observations of the magnetospheric ULF waves // J. Geophys. Res. 2023. Vol. 128, no. 7. P. e2023JA031441. DOI: 10.1029/2023JA031441.

98. Sych R.A., Altyntsev A.T. Siberian Radioheliograph: sunspot oscillations in 3–6 GHz band // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 2023. Vol. 519, no. 3. P. 4397–4407. DOI: 10.1093/mnras/stac3817.

99. Taschilin M.A., Yakovleva I.P., Obytotsky G.V. Features of aerosol optical depth variations over the Baikal region according to the expedition measurements data from 2018 to 2022 // Proc. SPIE. 2023. Vol. 12780: 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. P. 127802V. DOI: 10.1117/12.2690402.

100. Tomozov V.M., Minasyants G.S., Minasyants T.M. Solar flares with sustained gamma-ray emission and some characteristics of high-energy proton fluxes // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 4. P. 32–36. DOI: 10.12737/stp-94202304.

101. Turova I.P., Grigoryeva S.A., Ozhogina O.A. CAII lines in a quiet region on the Sun. I. Dynamic processes in the solar atmosphere // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 2. P. 9–21. DOI: 10.12737/stp-92202302.

102. Uralov A.M., Grechnev V.V., Lesovoi S.V., Globa M.V. Plasma heating in an erupting prominence detected from microwave observations with the Siberian Radioheliograph // Solar Phys. 2023. Vol. 298, no. 10. P. 117. DOI: 10.1007/s11207-023-02210-w.

103. Uskov G.S., Sazonov S.Yu., Zaznobin I.A., Burenin R.A., Gilfanov M.R., Medvedev P.S., Sunyaev R.A., Krivonos R.A., Filippova E.A., Khorunzhev G.A., Eselevich M.V. New active galactic nuclei detected by the ART-XC and eROSITA telescopes during the first five SRG All-Sky X-ray surveys // Astron. Lett. 2023. Vol. 49, no. 1. P. 25–48. DOI: 10.1134/S1063773723020044.

104. Vashishth V., Karak B.B., Kitchatinov L.L. Dynamo modelling for cycle variability and occurrence of grand minima in Sun-like stars: rotation rate dependence // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 2023. Vol. 522, no. 2. P. 2601–2610. DOI: 10.1093/mnras/stad1105.

105. Vasilyev R.V., Saunkin A.V., Zorkaltseva O.S., Artamonov M., Mikhalev A.V. Cli-

matology of 557.7 nm emission layer parameters over South-East Siberia. Observations and model data // Applied Sci. 2023. Vol. 13, no. 8. P. 5157. DOI: 10.3390/app13085157.

106. Vesnin A.M., Yasyukevich Yu.V., Perevalova N.P., Şentürk E. Ionospheric response to the 6 February 2023 Turkey–Syria earthquake // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, no. 9. P. 2336. DOI: 10.3390/rs15092336.

107. Wu W., Su J.-T., Chen J., Zhu X.-S., Sych R.A. Propagation properties of sunspots umbral oscillations in horizontal and vertical directions // Astrophys. J. 2023. Vol. 958, no. 1. P. 10. DOI: 10.3847/1538-4357/acf457.

108. Xu S., Chen C., Kruglyakov M., Kuvshinov A., Rigaud R., Hu X. Enormously large tippers observed in southwest China: can realistic 3-D EM modeling reproduce them?// Earth, Planets and Space. 2023. Vol. 75, no.1. P. 109. DOI: 10.1186/s40623-023-01863-y.

109. Yakimchuk A.I., Rubtsov A.V., Klimushkin D. Polarization distribution of transverse ULF waves according to Van Allen Probe A data: Whether toroidal and poloidal waves exist separately in the magnetosphere? // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 4. P. 72–77. DOI: 10.12737/stp-94202309.

110. Yasyukevich Yu.V., Zatolokin D.A., Padokhin A., Wang N., Nava B., Li Z., Yuan Y., Yasyukevich A., Chen C., Vesnin A.M. Klobuchar, NeQuickG, BDGIM, GLONASS, IRI-2016, IRI-2012, IRI-Plas, NeQuick2, and GEMTEC Ionospheric Models: A comparison in total electron content and positioning domains // Sensors. 2023. Vol. 23, no. 10. P. 4773. DOI: 10.3390/s23104773.

111. Yasyukevich Yu.V., Padokhin A., Vesnin A.M., Bykov A.E., Kiselev A.V., Ivanov A., Yasyukevich A. Ionospheric global and regional electron contents in solar cycles 23–25 // Symmetry. 2023. Vol. 15, no. 10. P. 1940. DOI: 10.3390/sym15101940.

112. Yadav R., Kazachenko M.D., Afanasyev A.N., de la Cruz Rodríguez J., Leenaarts J. Solar atmospheric heating due to small-scale events in an emerging flux region // Astrophys. J. 2023. Vol. 958, no. 1. P. 54. DOI: 10.3847/1538-4357/acfd2b.

113. Yazev S.A., Isaeva E.S., Khos-Erdene B. Solar activity cycle 25: the first three years // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 3. P. 3–9. DOI: 10.12737/stp-93202301.

114. Yazev S.A., Tomozov V.M. On the question of localizing the birthplaces of coronal mass ejections on the Sun // Astron. Rep. 2023. Vol. 67, no. 11. P. 1205–1215. DOI: 10.1134/S1063772923100086.

115. Zagainova Yu., Fainshtein V.G. The influence of eruptive processes in active regions on oscillations of the magnetic field parameters in sunspot umbrae // Geomagnetism and Aeronomy. 2018. Vol. 63, no. 7. P. 899–909. DOI: 10.1134/S0016793223070290.

116. Zaznobin I.A., Mereminskiy I.A., Burenin R.A., Sazonov S.Yu., Lutovinov A.A., Semena A.N., Eselevich M.V. AT2022acwk/Gaia23afx is a new optical transient, discovered by ATLAS (Tonry et al., 2018) on December 12, 2022 with the magnitude of 16.4 in the orange o-filter and located 55' away from the center of M31. Gaia RP low-resolution spectrum obtained on January, 11, 2023 showed signatures of strong emission lines // The Astronomer's Telegram. 2023. no. 15863.

117. Zhdanov D.A., Altyntsev A.T., Meshalkina N.S., Anfinogentov S. Statistical analysis of microflares as observed by the 4–8 GHz spectropolarimeter // Solar-Terr. Phys. 2023. Vol. 9, no. 3. P. 102–111. DOI: 10.12737/stp-93202312.

118. Zhukova A.V., Sokoloff D.D., Abramenko V., Khlystova A.I. The north-south asymmetry of active regions of different magneto-morphological types in solar cycles 23 and 24 // Adv. Space Res. 2023. Vol. 71, no. 4. P. 1984–1994. DOI: 10.1016/j.asr.2022.09.013.

119. Zorkaltseva O.S., Antokhina O., Antokhin P.N. Long-term variations in parameters of sudden stratospheric warmings according to ERA5 reanalysis data // Atmospheric and Oceanic Optics. 2023. Vol. 36, no. 4. P. 370–378. DOI: 10.1134/S1024856023040206.

5.3. Монографии

1. Жеребцов Г.А., Медведев А.В., Олемской С.В. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН — крупнейший проект научной инфраструктуры России // Фундаментальные исследования в Восточной Сибири: к 75-летию академической науки в Восточной Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2023. С. 174–204. DOI: 10.53954/9785605098607.

2. Засыпкина Е.Ю., Язев С.А. Галактика и ее население: учебно-методическое пособие для преподавателей общеобразовательных школ и учреждений дополнительного образования. Ярославль: ИПК «Индиго», 2023. 44 с.

3. Планетарии: история, образование, культура: сборник исторических очерков и эссе / под ред. С. А. Язева. Ярославль: ИПК «Индиго», 2023. 160 с.

4. Язев С.А. Глава девятнадцать: фантастическая повесть. Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2023. 224 с.

5. Язев С.А. Астрономия. Солнечная система: учебное пособие для вузов / под ред. В.Г. Сурдина. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Изд-во «Юрайт», 2023. 335 с. https://urait.ru/book/astronomiya-solnechnaya-sistema-532831.

6. Язев С.А. Солнце и жизнь Земли: учебно-методическое пособие для преподавателей общеобразовательных школ и учреждений дополнительного образования. 2-е изд. Калуга: ИП Стрельцов И.А. (изд-во «Эйдос»), 2023. 36 с.

7. Chelpanov M., Mikhailova O.S., Mager P., Smotrova E.E., Klimushkin D. Various Mechanisms of ULF Wave–Electron Interaction: Case Studies // Problems of Geocosmos — 2022. Proc. XIV Conference and School. Berlin: Springer Verlag, 2023. P. 351–360. (Springer Proc. in Earth and Environmental Sciences). DOI: 10.1007/978-3-031-40728-4_26.

5.4. Результаты интеллектуальной деятельности

1. Цедрик М.В. Программа для построения амплитудных и высотных карт ионосферы по данным ионозонда «Ионозонд МС». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023662938 от 16.06.2023.

2. Пономарчук С.Н. Куркин В.И. Способ местоопределения источников декаметрового радиоизлучения. Патент на изобретение № 2798776 от 27.06.2023.

3. Ковалев И.И., Сдобнов В.Е. Исследование космических лучей методом спектрографической глобальной съемки по данным мировой сети станций. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023685687от 29.11.2023.

5.5. Электронные издания

1. Berngardt O.I. Improving classification neural networks by using absolute activation function (MNIST/LeNET-5 example) // arXiv.org. 2023. arXiv:2304.11758. https://arxiv.org/pdf/2304.11758.pdf.

2. Berngardt O.I. Superclustering by finding statistically significant separable groups of optimal gaussian clusters // arXiv.org. 2023. arXiv:2309.02623. https://arxiv.org/pdf/2309.02623.pdf.

3. Brandenburg A., Elstner D., Masada Y., Pipin V.V. Turbulent processes and meanfield dynamo // arXiv.org. 2023. arXiv:2303.12425. https://arxiv.org/pdf/2303.12425.pdf.

4. Fedenev V.V., Anfinogentov S., Fleishman G.D. Strongest coronal magnetic fields in solar cycles 23–24: Probing, statistics, and implications // arXiv.org. 2023. arXiv:2301.08922v1. https://arxiv.org/pdf/2301.08922.pdf.

5. Hazra G., Nandy D., Kitchatinov L.L., Choudhuri A.R. Mean field models of flux transport dynamo and meridional circulation in the Sun and stars // arXiv.org. 2023. arXiv:2302.09390. https://arxiv.org/pdf/2302.09390.pdf.

6. Nita G.M., Fleishman G.D., Kuznetsov A.A., Anfinogentov S., Stupishin A., Kontar E.P., Schonfeld S.J., Klimchuk J.A., Gary D. Data-constrained solar modeling with GX Simulator // arXiv.org. 2023. CT. arXiv:2301.00795v1.

7. Pipin V.V. Spatio-temporal non-localities in a solar-like mean-field dynamo // arXiv.org. 2023. arXiv:2302.11176. https://arxiv.org/pdf/2303.12425.pdf.

8. Pipin V.V., Kosovichev A.G. Toroidal magnetic flux budget in mean-field dynamo

model of solar cycles 23 and 24 // arXiv.org. 2023. arXiv:2306.04124. https://arxiv.org/pdf/2306.04124.pdf.

9. Pipin V.V. On origin of active/inactive branches on moderate rotating solar analogs // arXiv.org. 2023. arXiv:2311.09573. https://arxiv.org/pdf/2311.09573.pdf.

10. Potravnov I.S., Mashonkina L.I., Ryabchikova T.A. BD+30°549: young helium-weak silicon star in NGC 1333 star-forming region // arXiv.org. 2023. 10.48550/arXiv.2301.07856v1. DOI: 10.1093/mnras/stad193.

11. Smotrova E.E., Mager P., Mikhailova O.S., Klimushkin D. Diagnostics of the ionospheric conductivity based on spacecraft observations of the magnetospheric ULF waves // ESS Open Archive Authorea. 2023. DOI: 10.22541/essoar.167768097.73749493/v1.

12. Vashishth V., Karak B.B., Kitchatinov L.L. Dynamo modelling for cycle variability and occurrence of grand minima in Sun-like stars: Rotation rate dependence // arXiv.org. 2023. arXiv:2304.05819. https://arxiv.org/pdf/2304.05819.pdf.

13. Боровик А.В., Жданов А.А. Каталог солнечных вспышечных событий в линии На (01.2018 – 06.2023 гг). Москва: МЦД по СЗФ ГЦ РАН, 2023. 63 с. DOI: 10.2205/ESDB-SAD-FE-05. http://www.wdcb.ru/stp/data/Solar_Flare_Events/ SFE_2018-2023.ru.pdf.

14. Kurkin V.I., Medvedeva I.V., Podlesnyi A.V. Effect of sudden stratosphere warming on characteristics of medium-scale traveling ionospheric disturbances in the Asian region of Russia // Adv. Space Res. 2023. DOI: 10.1016/j.asr.2023.09.020.

15. Kozlov, D.A., Leonovich A.S., Vlasov A.A. Determining the radial structure of highm Alfvén wave by means of the "phase portrait" method // Adv. Space Res. 2023. DOI: 10.1016/j.asr.2023.08.009.

16. Linton M.G., Antiochos S.K., Barnes G., Fan Y., Liu Y., Lynch B.J., Afanasyev A.N., Arge C. N., Burkepile J., Cheung M.C.M., Dahlin J.T., DeRosa M.L., de Toma G., DeVore C. R., Fisher G.H., Henney C.J., Jones S.I., Karpen J.T., Kazachenko M.D., Leake J. E., Török T., Welsch B.T. Recent progress on understanding coronal mass ejection/flare onset by a NASA living with a star focused science team // Adv. Space Res. 2023. DOI: 10.1016/j.asr.2023.06.045.

17. Mishin, V.V., Klibanova, Y.Y., Marchuk, R.A., Mikhalev, A.V., Penskikh, Y.V. Midlatitude bursts of PiB geomagnetic pulsations and night airglow during stormtime sawtooth events // Adv. Space Res. 2023. DOI: 10.1016/j.asr.2023.06.032.

18. Gavrilov, N.M., Popov, A.A., Dalin, P., Perminov V.I., Pertsev N.N., Medvedeva I.V., Ammosov P.P., Gavrilyeva, G.A., Koltovskoi, I.I. Multiyear variations of time-correlated mesoscale OH temperature perturbations near the mesopause at Maymaga, Tory and Zvenigorod // Adv. Space Res. 2023. DOI: 10.1016/j.asr.2023.05.049.

5.6. Доклады на российских конференциях

1. Агальцов А.А., Васильев Р.В. Проверка геострофичности вариаций ветра на нейтральной верхней атмосфере в периоды геомагнитных бурь // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы V Всеросс. научно-практ. конференции. Иркутск, 23–25 ноября 2022 г. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2023. С. 126–132. eLIBRARY ID: 50343841. https://elibrary.ru/item.asp?id=50343841.

2. Антохина О.Ю., Гочаков А.В., Зоркальцева О.С., Крупчатников В.Н. Исследование геометрии контуров потенциальной завихренности на уровне 850 К: диагностический инструмент для анализа динамики средней стратосферы // XV Сибирское совещание и школа молодых ученых по климатоэкологическому мониторингу. Томск, 17–20 октября 2023 г.: Материалы докладов. Томск, 2023. С. 11–14.

3. Белоусова Е.П., Вологжина С.Ж., Латышева И.В., Лощенко К.А. Циркуляционные факторы изменения климата Иркутской области // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы V Всеросс. научно-практ. конференции. Иркутск, 23–25 ноября 2022 г. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2023. С. 133–140. eLI-BRARY ID: 50343842 . https://elibrary.ru/item.asp?id=50343842. 4. Болсуновский М.А., Шестаков Н.В., Долгих Г.И., Перевалова Н.П. Поиск ионосферных возмущений, инициированных извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г., над территорией Приморского края // Х конференция молодых ученых «Океанологические исследования». Владивосток, 24–28 апреля 2023 г.: Труды конф. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2023. С. 194–196.

5. Головко А.А. Особенности поля скоростей в активной области 12673, связанные со вспышками 6 сентября 2017 года // XXVII Всеросс.ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023». СПб., ГАО РАН, 9–13 октября 2023 г: Труды. Санкт-Петербург, 2023. С. 55–58. DOI: 10.31725/0552-5829-2023-55-58. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/book/conf2023.pdf.

6. Грач С.М., Легостаева Ю.К., Емельянов В.В., Когогин Д.А., Насыров И.А., Шидин А.В., Белецкий А.Б., Грехнева К.К., Павлова В., Хашев В.Р. Первые ре-зультаты трехпозиционных измерений искусственного оптического свечения в красной линии атомарного кислорода на нагревном стенде СУРА в 2021 и 2022 гг. // Всеросс. открытые Армандовские чтения. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Муром, 27–29 июня 2023 г.: Материалы. Муром, 2023. С. 240–247. DOI: 10.24412/2304-0297-2023-1-240-247.

7. Данильчук Е.И., Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В., Сергеева М.А. Частота девиации как инструмент обнаружения слабых ионосферных неоднородностей на фоне шумов // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 104–107. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

8. Добрынин В.А., Сорокин А.Г. Атмосферные эффекты извержения вулкана Тон-га // ХХХV сессия Российского акустического общества. Москва, 13–17 февраля 2023 г.: Сб. трудов. Москва: Изд-во «ГЕОС», 2023. Т. 119, № 1. С. 489–494. DOI: 10.34756/GEOS.2023.17.38487.

9. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В. Влияние взрывных процессов в активных областях на характеристики магнитного поля в тени солнечных пятен в зависимости от их размеров и положения // XXVII Всеросс.ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023». СПб., ГАО РАН, 9–13 октября 2023 г: Труды. Санкт-Петербург, 2023. С. 115–118. DOI: 10.31725/ 0552-5829-2023-115-118. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/book/conf2023.pdf.

10. Емельянов В.В., Когогин Д.А., Максимов Д.С., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Шиндин А.В., Грач С.М., Загретдинов Р.В. Совместный анализ снимков ночного неба и карт вариаций полного электронного содержания в период работы УНУ стенд «СУРА» // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распростране-ние радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 599–602. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

11. Иванов К.И., Комарова Е.С., Язев С.А. Определение параметров атмосферной траектории ступени ракеты-носителя СZ-4В R/В в условиях дефицита эмпирических данных // XIII Всеросс. молодежная научная конференция «Минералы: строение, свойства, методы исследования». Екатеринбург, 29 мая – 2 июня 2023 г.: Материалы. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН, 2023. С. 135–137. http://www.igg.uran.ru/sites/default/files/Conferences/mineraly-2023_sbornik_tezisov.pdf.

12. Ивонин В.А., Лебедев В.П. Исследование вариаций мощности радиолокационного сигнала от спутников группировки STARLINK по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 353–355. https://science.volgatech.net/nm/ Conferences/rasprad/.

13. Каракотов Р.Р., Анфиногентов С.А., Кузнецов А.А. Исследование медленных волн в корональных структурах по данным наблюдений SDO/AIA // XXI Всеросс. моло-

дежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы, посвященная 300-летию РАН. Самара, 14–18 ноября 2023 г: Сб. трудов. Москва: Тровант, 2023. С. 77–78. https://laser-optics.ru.

14. Кичатинов Л.Л. Приповерхностный слой неоднородного вращения Солнца: происхождение и значение для динамо // XXVII Всеросс. ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023». СПб., ГАО РАН, 9–13 октября 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург, 2023. С. 161–166. DOI: 10.31725/0552-5829-2023-161-166. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/book/conf2023.pdf.

15. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Язев С.А. О влиянии современного потепления на увлажнение Байкальского региона // IV Всеросс. научно-практическая конференция «Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле», посвященная 30-летнему юбилею Байкальского музея СО РАН. п. Листвянка, 25–29 сентября 2023 г.: Материалы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2023. С. 164–167. DOI: 10.24412/c1-34446-2023-4-164-167.

16. Куркин В.И., Золотухина Н.А., Пономарчук С.Н., Ойнац А.В., Ратовский К.Г. Особенности ионосферных возмущений, сопровождавших магнитную бурю 14–20 января 2022 года // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 127–130. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/ rasprad/.

17. Куркин В.И., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Софьин А.В. Сезонно-суточные особенности характеристик среднемасштабных ПИВ в Азиатском регионе России в годы умеренной солнечной активности // XXVIII Всеросс. открытая науч-ная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 131–134. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

18. Ларюнин О.А., Куркин В.И., Рыбкина А.А., Подлесный А.В. Определение скорости движения ионосферных возмущений по данным вертикального зондирования ионосферы // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 135–138. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

19. Лебедев В.П., Ивонин В.А., Громик Н.А. Информационно-аналитическая система комплексного анализа радиофизических данных ИСЗФ СО РАН: первые результаты // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 139–142. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

20. Лощенко К.А., Белоусова Е.П., Вологжина С.Ж., Развозжаев А.И. Климатические рис-ки на территории Сибирского федерального округа // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы V Всеросс. научно-практ. конференции. Иркутск, 23–25 ноября 2022 г. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2023. С. 339–345. eLIBRARY ID: 50343880. https://elibrary.ru/item.asp?id=50343880.

21. Лукьянцев Д.С., Афанасьев Н.Т., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Математическое моделирование рефракции электромагнитных волн в гравитационном поле // Междунар. конференция «Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения» (DYSC 2023). Иркутск, 18–23 сентября 2023 г.: Сб. трудов. Иркутск: ИГУ, 2023. С. 201–204.

22. Лукьянцев Д.С., Афанасьев Н.Т., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Стохастическое замывание эффектов гравитации при распространении электромагнитных волн в межзвездной среде // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 143–146. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/ rasprad/. 23. Медведев А.В., Жеребцов Г.А., Куркин В.И., Ратовский К.Г., Бернгардт О.И., Лебедев В.П., Кушнарев Д.С., Толстиков М.В., Алсаткин С.С., Сетов А.Г., Гркович К.В., Федоров Р.Р. Радары некогерентного и когерентного рассеяния // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 51–58. https://science.volgatech.net/upload/documents/science/RRW2023.pdf.

24. Мельников В.Ф., Мешалкина Н.С. Эффект сокращения корональных петель во время вспышки 24.02.2023 // XXVII Всеросс. ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023». СПб., ГАО РАН, 9–13 октября 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург, 2023. С. 215–218. https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-215-218. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/book/conf2023.pdf.

25. Молчанова Н.О., Васильев Р.В., Цедрик М.В., Марчук Р.А., Подлесный С.В., Иванов К.А. Поиск проявления спрайтов в данных ионозондов магнитометров и в метеорологических архивах данных // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 325–329. https://science.volgatech.net/ nm/Conferences/rasprad/.

26. Мотык И.Д., Кашапова Л.К., Сетов А.Г., Шамсутдинова Ю.Н., Куприянова Е.Г. Энерговыделение на фазе спада солнечных вспышек // XXI Всеросс. молодежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы, посвященная 300-летию РАН. Самара, 14–18 ноября 2023 г: Сб. трудов. Москва: Тровант, 2023. С. 111–112. https://laser-optics.ru/.

27. Муратова Н.О., Кашапова Л.К. Статистический анализ параметров радиовсплесков III типа по данным солнечного спектрополяриметра метрового диапазона (ССМД) // XXVII Всеросс. ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023». СПб., ГАО РАН, 9–13 октября 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург, 2023. С. 231–234. DOI: 10.31725/0552-5829-2023-231-234. http://www.gaoran.ru/ russian/solphys/2023/book/conf2023.pdf.

28. Ойнац А.В., Валиулин Д.Ф. Об учете шероховатости земной поверхности в моделях распространения и рассеяния радиоволн // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 156–159. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

29. Пенских Ю.В. Алгоритм поиска границ аврорального овала по изображениям полярных сияний со спутника IMAGE FUV // Вторая региональная летняя научная школа молодых ученых-космофизиков, посв. 50-летию радиофизических наблюдений на полигоне «Ойбенкель». Якутск, 4–5 августа 2022 г.: Сб. трудов. Якутск: Изд-во: Государственное казенное учреждение Республики Саха (Якутия) «Национальная библиотека Республики Саха (Якутия)», 2023. С. 156–161.

30. Перевалова Н.П., Ратовский К.Г., Ясюкевич А.С. Оценка связи волновых возмущений максимальной электронной концентрации в слое F2 и полного электронного содержания в ионосфере // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радио-волн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 172–175. https://science.volgatech.net/nm/ Conferences/rasprad/.

31. Пономарчук С.Н., Ильин Н.В., Куркин В.И., Пензин М.С. Исследование КВрадиотрасс на основе волноводного подхода // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 240–243. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

32. Рожкова Д.В., Кашапова Л.К., Мягкова И.Н. Моделирование временных профилей событий в солнечных космических лучах // XXVII Всеросс. ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023». СПб., ГАО РАН, 9–13 октября 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург, 2023. С. 281–284. http://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-281-284. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/book/conf2023.pdf.

33. Ратовский К.Г. Долговременные вариации максимума электронной концентрации: зависимость от солнечной и геомагнитной активности, долговременные тренды // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16– 19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 176–179. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

34. Серебренникова С.А. Моделирование активности авроральной области и зоны экваториальных пузырей по данным ГНСС // ХХVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 184–185. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

35. Сетов А.Г., Кушнарев Д.С. Калиброванные измерения медленно меняющейся компоненты излучения Солнца и солнечных радиовсплесков на частоте 161 МГц // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16– 19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 186–189. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

36. Ташлыков В.П., Медведев А.В. Анализ полного профиля для Иркутского радара некогерентного рассеяния // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 190–193. https://science.volgatech.net/ nm/Conferences/rasprad/.

37. Толстиков М.В., Ойнац А.В., Артамонов М.Ф., Медведева И.В., Ратовский К.Г. Исследование взаимодействия перемещающихся ионосферных возмущений с нейтральным ветром по данным радаров когерентного рассеяния // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 200–204. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/rasprad/.

38. Чудаев С.О., Афанасьев Н.Т., Лукьянцев Д.С., Танаев А.Б. Определение интегральных параметров тонкой структуры ионосферы методом декаметрового радиопросвечивания // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 205–208. https://science.volgatech.net/nm/Conferences/ rasprad/.

39. Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К., Жданов Д.А. Эволюция микроволновых источников в диапазоне 3–12 ГГц во время импульсной фазы лимбовой вспышки 5 февраля 2023 года // XXVII Всеросс. ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023». СПб., ГАО РАН, 9-13 октября 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург, 2023. С. 353–356. https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-353-356. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/book/conf2023.pdf.

40. Язев С.А. Жизнь в молодой Солнечной системе // IV Всеросс. научнопрактическая конференция «Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле», посвященная 30-летнему юбилею Байкальского музея СО РАН. Пос. Листвянка, 25– 29 сентября 2023 г.: Материалы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2023. С. 13–16.

41. Ясюкевич Ю.В., Ясюкевич А.С., Астафьева Э.И. Повышение порога устойчивости измерения фазы GPS-сигнала во время солнечных радиовспышек // XXVIII Всеросс. открытая научная конф. «Распространение радиоволн». Йошкар-Ола, 16–19 мая 2023 г.: Сб. докладов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. С. 209–212. https://science.volgatech.

5.7. Доклады на международных, в том числе зарубежных конференциях

1. Belyuchenko K.V., Klimenko M., Klimenko V.V., Ratovsky K.G. Modeling of zonal mean ionospheric disturbances on the example of the March 2015 geomagnetic storm with different onset moments // Proc. VIII Intern. Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2023). June 4–9, 2023. Kaliningrad, 2023. P. 55–58. http://www.aisconf.ru/page/scope%2Fru.

2. Chernigovskaya M.A., Yasyukevich A., Khabituev D.S. Investigation of the ionosphere response over Eurasia on magnetic storms in March 2012 // Proc. VIII Intern. Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2023). June 4–9, 2023. Kaliningrad, 2023. P. 58–62. http://www.aisconf.ru/page/scope%2Fru.

3. 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. Virtual Meeting of the International Astronomical Union "The Predictive Power of Computational Astrophysics as a Discovery Tool". November 8-12, 2021. 2023. Vol. 362. P. 333–352. DOI: 10.1017/S1743921322001466.

4. Kurkin V.I., Podlesnyi A.V., Cedrik M. Investigation of seasonal features of the characteristics of medium-scale TIDs in the Asian Region of Russia // Proc. IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC). 2023. P. 242–245. DOI: 10.1109/RMC55984.2022.10079605.

5. Kurkin V.I., Lebedev V.P., Podlesnyi A.V., Cedrik M. Using unmanned aerial vehicles to calibrate transmitting and receiving paths and antenna feeder devices of chirp ionosondes // Proc. IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC). 2023. P. 397–400. DOI: 10.1109/RMC55984.2022.10079391.

6. Medvedeva I.V., Ratovsky K.G. Effects of geomagnetic storms in the mesopause region and F2-layer of the ionosphere // VIII Intern. Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2023). June 4–9, 2023, Kaliningrad. P. 121–124. http://www.aisconf.ru/page/ scope%2Fru.

7. Melgarejo-Morales A., Aguilar-Rodriguez E., Vesnin A.M., Martinez-Felix C.A. Search for the earthquake-related ionospheric disturbances using ROTI: A case study // Proc. VIII Intern. Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2023). June 4–9, 2023, Kaliningrad. P. 89–93. http://www.aisconf.ru/page/scope%2Fru.

8. Oinats A.V. Ionospheric echo occurrence observed by the EKB and MGW HF radars during qui-et and disturbed geomagnetic conditions // Proc. VIII Intern. Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2023). June 4-9, 2023, Kaliningrad. P. 68–71. http://www.aisconf.ru/page/scope%2Fru.

9. Perevalova N. P., Ratovsky K.G., Yasyukevich A. The correlation of wave disturbances of ionospheric characteristics obtained from the ionosonde and GNSS receiver measurements // VIII Intern. Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2023). June 4–9, 2023, Kaliningrad. P. 127–129. http://www.aisconf.ru/page/scope%2Fru.

10. Ponomarchuk S.N., Ilyin N.V., Kurkin V.I., Penzin M.S. Modification to waveguide approach to study HF radio paths // Proc. IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC). 2023. P. 246–249. DOI: 10.1109/RMC55984.2022.10079690.

11. Ratovsky K.G., Klimenko M., Vesnin A.M., Belyuchenko K.V. Statistical analysis of geomagnetic activity indices // Proc. VIII Intern. Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2023). June 4–9, 2023, Kaliningrad. P. 51–55. http://www.aisconf.ru/page/scope%2Fru.

12. Sofyin A.V., Kurkin V.I. Studying the impacts of spatial structure TIDs on ionograms of oblique incidence sounding of the ionosphere // Proc. IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC). 2023. P. 258–261. DOI: 10.1109/RMC55984.2022.10079543.

13. Yasyukevich Yu.V., Kiselev A.V., Zhivetiev I.V., Edemskiy I.K., Syrovatskii S.V., Maletckii B.M., Kalinka G., Padokhin A., Vesnin A.M. SIMuRG – a system for ionosphere monitoring and research from GNSS: Current state // Proc. VIII Intern. Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2023). June 4–9, 2023, Kaliningrad. P. 5–8. http://www.aisconf.ru/page/scope%2Fru.

14. Zorkaltseva O.S., Antokhina O., Antokhin P.N., Martynova Y.V. Relationship between tropospheric blocking events and stratospheric temperature in winter // Proc. VIII Intern. Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety" (AIS-2023). June 4–9, 2023, Kaliningrad, 2023. P. 135–138. http://www.aisconf.ru/page/scope%2Fru.

15. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Зоркальцева О.С., Бобровников С.М., Жарков В.И., Трифонов Д.А. Особенности динамики и связи тропосферы и стратосферы в зимний период 2022–2023 // Материалы XXIX Международного Симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. D231–D237. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

16. Афанасьев Н.Т., Лукьянцев Д.С., Танаев А.Б., Чудаев С.О. Коротковолновая диагностика интегральных параметров тонкой структуры верхней атмосферы методом наклонного зондирования // Материалы XXIX Международного Симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. E141–E144. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

17. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Васильев Р.В., Татарников А.В., Щеглова Е.С. Мониторинг прозрачности атмосферы в темное время суток по данным оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023). Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург: ООО «Издательство BBM», 2023. С. 54–57. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

18. Белецкий А.Б., Насыров И.А., Подлесный С.В., Емельянов В.В., Сыренова Т.Е. Исследование проявлений волновых возмущений в излучении атмосферной эмиссии 630.0 нм, стимулированных мощным КВ-радиоизлучением стенда СУРА // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023).: Труды. Санкт-Петербург, 2023. С. 207–210. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

19. Васильев Р.В., Тащилин М.А., Татарников А.В. Сопоставление динамики термальных точек и зарегистрированных гроз с динамикой молниевых разрядов на байкальской природной территории в 2012–2018 гг. Comparison of the dynamics of hot spots and recorded thunderstorms with the dynamics of lightning discharges over the Baikal natural territory in 2012–2018 // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023). Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург: ООО «Издательство BBM», 2023. С. 66–70. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

20. Васильев Р.В., Ратовский К.Г. Оценка воздействия спрайтов с GHOST на ионосферу по данным ионозонда «DPS-4» и грозопеленгацонной сети «Верея-МР» // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023). Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург: ООО «Издательство BBM», 2023. С. 247–253. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

21. Добрынин В.А. Расчет, применение и оценка пространственно-акустического фильтра розеточного типа // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. D410–D413. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

22. Дрига М.Б., Ковадло П.Г., Киселев А.В., Русских И.В., Колобов Д.Ю. Метод определения волнового фронта по данным измерений, выполненных при помощи датчика Шека — Гартмана // Материалы XXIX Международного Симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. А167–А170. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

23. Еселевич В.Г., Пархомов В.А. Альфа частицы как важный индикатор прохождения диамагнитных структур солнечного ветра внутрь магнитосферы // Proc. The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", Apatity, 13–17 March, 2023. Apatity, 2023. Р. 112–118. DOI: 10.51981/2588-0039.2023.46.025.

24. Зоркальцева О.С., Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Артамонов М.Ф. Взаимодействие тропосферы и стратосферы до и после усиления Арктики 2000-х: изменчивость нелинейных процессов и корреляционные паттерны // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023). Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург: ООО «Издательство BBM», 2023. С. 228–230. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

25. Иванова В.А., Подлесный А.В., Рыбкина А.А., Поддельский А.И. Автоматическая обработка наинизших наблюдаемых частот по данным наклонного зондирования во время рентгеновских солнечных вспышек // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. E209–E213. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

26. Караханян А.А., Молодых С.И. О возможности применения электрического потенциала ионосферы в задаче солнечно тропосферных связей // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. E175–E178. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

27. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Леженин А.А., Градов В.С., Зайко П.О., Хитриков М.А. Определение характеристик мезо- и микромасштабной турбулентности в приложении к астрономическим наблюдениям: модель WRF // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. А255–А258. https://symp.iao.ru/ru/a00/29/i1.

28. Ковадло П. Г. Статистические характеристики структуры атмосферных течений в погра-ничном слое атмосферы в диапазоне оптической турбулентности // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. А259–А262. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

29. Ковадло П. Г., Шиховцев А. Ю. Микроструктура турбулентности в нижнем 300м слое атмосферы в ночное и дневное время // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. А375–А378. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

30. Лавыгин И.А., Бернгардт О.И. Исследование спектрального состава волн в нижних слоях ионосферы по данным радаров SUPERDARN и СЕКИРА с помощью модели ARIMA // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. E179–E182. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

31. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Сравнительный анализ влияния геомагнитных бурь на ха-рактеристики излучения гидроксила OH(6-2) и максимум электронной концентрации N_mF2 // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. E196–E200. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

32. Перевалова Н.П., Ратовский К.Г., Ясюкевич А.С. Корреляционные отношения длинноволновых возмущений в верхней атмосфере // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. E53–E56. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

33. Полухина С.А., Кашапова Л.К. Локализация вспышечного источника для события SOL2022-02-03T04:21UT по наблюдениям Сибирского радиогелиографа // 50-я Междунар. студенческая научная конф. «Физика космоса»: Труды. Екатеринбург, 2023, Издво: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2023. С. 274–277.

34. Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Котович Г.В. Методика автоматического определения параметров ионосферы по данным вертикального зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. Е109–Е114. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

35. Пономарчук С.Н., Грозов В.П. Автоматическая интерпретация ионограмм наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом на основе гибридных алгоритмов // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. Е115– Е120. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

36. Саункин А.В., Васильев Р.В., Зоркальцева О.С., Артамонов М.Ф., Михалев А.В. Климатология параметров эмиссионного слоя 557.7 нм над югом Восточной Сибири. Результаты наблюдений и моделирования // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. E171–E174. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

37. Тащилин М.А., Яковлева И.П., Обытоцкий Г.В. Особенности вариаций аэрозольной оптической толщи в Байкальском регионе по данным экспедиционных измерений в 2018–2022 гг. // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. В97–В101. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

38. Хабитуев Д.С. Блокирующие свойства стратосферного полярного вихря в Северном полушарии во время зим 2019-2021гг. // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. 290–293. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

39. Хахинов В.В. Космические эксперименты в обсерваториях ИСЗФ СО РАН в Тункинской долине, республика Бурятия // Междунар. научная конференция «Трансграничье Востока России в модернизационных процессах ХХ–ХХІ вв. (к 100-летию Республики Бурятия)», Улан-Удэ, 29 мая – 1 июня 2023 г.: Сборник научных трудов. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2023. С. 266–268.

40. Шелков А.Д., Васильев Р.В., Артамонов М.Ф. Исследование интенсивности свечения атмосферы с использованием данных Иркутского радара некогерентного рассеяния и интерферометров Фабри — Перо // Proc. the 46th annual seminar "Physics of Auroral Phenomena", Apatity, 13–17 March, 2023. Apatity, 2023. P. 169–172. DOI: 10.51981/2588-0039.2023.46.036.

41. Шиховцев А.Ю., Дрига М.Б., Ковадло П.Г. Осажденный водяной пар в регионе расположения Большого телескопа альт азимутального // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. А263–А266. https://symp.iao.ru/ru/a00/29/i1.

42. Шиховцев А.Ю., Ибрагимов М., Кириченко К.Е., Копылов Е.А., Ковадло П.Г. Особенности распределений осажденного водяного пара по земному шару с использованием данных реанализа ERA-5 // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. А310–А313. https://symp.iao.ru/ru/a00/29/i1.

43. Шиховцев А.Ю. Осажденный водяной пар в некоторых перспективных для наземных аст-рономических наблюдений пунктах: озеро Каракуль // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. А336–А339. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

44. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Чупраков С.А., Лукин В.П. О коррекции искажений волнового фронта в системах адаптивной оптики широкого поля зрения // Материалы XXIX Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». 26–30 июня 2023 г., Москва. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2023. С. А379–А382. https://symp.iao.ru/ru/aoo/29/i1.

45. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Леженин, А.А., Градов В.С., Зайко П.О., Хитриков М.А., Кириченко К.Е., Дрига М.Б., Киселев А.В., Русских И.В., Оболкин В.А., Шиховцев М.Ю. Оценка атмосферных характеристик в приложении к астрономическим телескопам наземного базирования // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и

динамика» (МСАРД – 2023). Санкт-Петербург, 21–24 июня 2023 г.: Труды. Санкт-Петербург: ООО «Изд-во BBM», 2023. С. 247–253. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

46. Шубин Д.А., Рубцов А.В., Климушкин Д.Ю. Кластеризация УНЧ-волн методами машинного обучения по данным спутника THEMIS-A // Proc. the 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", Apatity, 13–17 March, 2023. Apatity, 2023. P. 96–98. DOI: 10.51981/2588-0039.2023.46.021.

5.8. Тезисы докладов на российских конференциях

1. Алексеева М.Н., Федоров Д.В., Ященко И.Г., Русских И.В. Моделирование полей концентраций загрязняющих веществ от факельных установок в ХМАО-ЮГРА // Юбилейная ХХХ конференция «Аэрозоли Сибири», посв. 300-летию РАН. 28 ноября 01 декабря 2023 г., Томск: Тезисы докладов. Томск: ИОА СО РАН, 2023. С. 16. https://symp.iao.ru/files/iao/AerosoliSibiri_2023.pdf.

2. Алтынцев А.Т., Глоба М.В., Мешалкина Н.С. Спокойная корона Солнца: ежедневные изображения на длинах волн 8.8 10.7 см // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 76. https://plasma2023.cosmos.ru.

3. Анфиногентов С.А., Рубцов А.В. Существуют ли магнитоплазменные петли в магнитосфере Земли? // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 226. https://plasma2023.cosmos.ru/.

4. Больбасова Л.А., Колобов Д.Ю., Лукин В.П., Соин Е.Л., Казаков Д.В., Киселев А.В., Русских И.В., Томин В.Е., Шиховцев А.Ю., Дрига М.Б. Использование датчика Шэка — Гартмана как измерителя турбулентности атмосферы // Юбилейная XXX конференция «Аэрозоли Сибири», посв. 300 летию РАН. 28 ноября – 1 декабря 2023 г., Томск: Тезисы докладов. Томск: ИОА СО РАН, 2023. С. 80. https://symp.iao.ru/files/iao/ AerosoliSibiri_2023.pdf.

5. Боровик А.В., Жданов А.А. Связь солнечных вспышек малой мощности с динамикой мелкомасштабных структур магнитного поля (активная область NOAA 12673) // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2023». КрАО РАН (Научный), 13–16 июня 2023 г.: Тезисы докл. Научный, 2023. https://sun.crao.ru/ conferences/konferentsiya-magnetizm-i-aktivnost-solntsa-2023.

6. Власов А.А., Леонович А.С., Козлов Д.А. Определение поперечной структуры маг-нитосферных альфвеновских колебаний с помощью метода фазовых портретов // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 429. https://plasma2023.cosmos.ru/.

7. Головко А.А., Салахутдинова И.И. Мультифрактальная структура магнитного поля и поля скоростей в очагах солнечных вспышек // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 112. https://plasma2023.cosmos.ru/.

8. Головко А.А. Особенности поля скоростей в активной области 12673, связанные со вспышками 6 сентября 2017 года // Солнечная и солнечно-земная физика – 2023. XXVII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 9–13 октября 2023 г. Санкт-Петербург, ГАО РАН: Тезисы докл. СПб.: ГАО РАН, 2023. С. 23. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/gao2023.pdf.

9. Жданов Д.А., Алтынцев А.Т. Статистический анализ микровспышек по данным спектрополяриметра 4–8 ГГц // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 82. https://plasma2023.cosmos.ru/.

10. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г. Оценка влияния размеров и положения солнечных пятен относительно источника мощного взрывного процесса в активной области на параметры магнитного поля в тени пятен // Солнечная и солнечно-земная физика – 2023. XXVII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 9–13 октября 2023 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: Тезисы докл. СПб.: ГАО РАН, 2023. С. 45. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/gao2023.pdf.

11. Загайнова Ю.С., Громов С.В., Громова Л.И., Файнштейн В.Г. Сравнение регистрации внезапного начала магнитной бури по данным с минутным и секундным разрешением // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 366. https://plasma2023.cosmos.ru/.

12. Ivonin V.A. Studying radar signal power from STARLINK satellites, according to data from Irkutsk Incoherent Scatter Radar // "Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century". Multidisciplinary Youth Academic Research Conference. Irkutsk, May 18, 2023: Тезисы докл. Иркутск: ИНЦ СО РАН, 2023. С. 46–48.

13. Karakotov R.R. Sun image synthesis using data of Siberian radio heliograph 3–6 GHz array // "Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century". Multidisciplinary Youth Academic Research Conference. Irkutsk, May 18, 2023: Тезисы докл. Иркутск: ИНЦ CO PAH, 2023. С. 49–51.

14. Караханян А.А., Молодых С.И. Электрический ионосферный потенциал альтернативный индикатор солнечного воздействия на нижнюю атмосферу // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 325. https://plasma2023. cosmos.ru/.

15. Кашапова Л.К., Куприянова Е.Г., Reid H.A.S., Long D., Zhang J. Возможный механизм связи между радиовсплесками III типа и источником микроволнового излуче-ния во время слабой солнечной вспышки // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 107. https://plasma2023.cosmos.ru/.

16. Kirichkov P. Space weather prediction under various low boundary conditions // "Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century". Multidisciplinary Youth Academic Research Conference. Irkutsk, May 18, 2023: Тезисы докл. Иркутск: ИНЦ СО РАН, 2023. С. 54–56.

17. Киселев В.И., Гречнев В.В., Уралов А.М., Мышьяков И.И. Возбуждение ударных волн в событиях без КВМ // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 118. https://plasma2023.cosmos.ru/.

18. Кичатинов Л.Л. Приповерхностный слой неоднородного вращения Солнца: проис-хождение и значение для динамо // Солнечная и солнечно-земная физика – 2023. XXVII всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 9–13 октября 2023 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: Тезисы докл. СПб.: ГАО РАН, 2023. С. 63. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/gao2023.pdf.

19. Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г., Ясюкевич А.С., Черниговская М.А., Белюченко К.В. Ионосферные эффекты геомагнитной бури в марте 2015 г. с различными моментами начала // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 262. https://plasma2023.cosmos.ru/.

20. Ковалев И.И., Олемской С.В., Сдобнов В.Е. Мониторинг параметров магнитосферы по эффектам в космических лучах в августе 2018 года // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 200. https://plasma2023.cosmos.ru.

21. Ковалев И.И. Заряженные компоненты космических лучей в методе спектрогра-
фической глобальной съемки // Ш Летняя научная школа молодых ученых-космофизиков, посвященная 50-летию Якутской комплексной установки ШАЛ. 14–15 июня 2023 г., Якутск: Программа. 2023. https://indico.ysn.ru/event/6.

22. Когогин Д.А., Емельянов В.В., Максимов Д.С., Насыров И.А., Белецкий А.Б., Шиндин А.В., Грач С.М., Загретдинов Р.В. Результаты совместного анализа снимков ночного неба в линии 630 нм и двумерных карт вариаций полного электронного содержания в период работы УНУ стенд СУРА в 2021–2022 гг. // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 298. https://plasma2023. cosmos.ru/.

23. Костарев Д.В., Пилипенко В.А., Козырева О.В. Риски влияния космической погоды на трубопроводы в Арктической зоне РФ // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 379. https://plasma2023.cosmos.ru/.

24. Костарев Д.В., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Изменение функции распределения потоков холодных электронов под действием параллельного электрического поля альфвеновской волны // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 424. https://plasma2023.cosmos.ru/.

25. Кузин С.В. Звездный и солнечный датчики для кубсатов // RUSNANOSAT-2023. Пятый Российский симпозиум по наноспутникам с международным участием. Самара, 06–08 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Самара: Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева, 2023. С. 69–70.

26. Кузин С.В., Богачев С.А., Лобода И.П. Компактный зеркальный телескоп для кубсатов // RUSNANOSAT-2023. Пятый российский симпозиум по наноспутникам с международным участием. Самара, 06–08 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Самара: Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева, 2023. С. 71–73.

27. Кузнецов А.А., Флейшман Г.Д., Nita G.M., Анфиногентов С.А. Диагностика механизмов нагрева солнечной короны по наблюдениям Сибирского радиогелиографа // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 75. https://plasma2023.cosmos.ru/.

28. Кузнецов А.А., Власов В.Г. Дисперсионные характеристики электромагнитных волн в нетепловой плазме с кольцевым распределением электронов // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 444. https://plasma2023.cosmos.ru/.

29. Марчук Р.А., Мишин В.В., Клибанова Ю.Ю., Михалев А.В., Пенских Ю.В. Динамика продольных токов, широкополосных пульсаций и свечения ночной атмосферы на средних широтах во время пилообразных событий // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 221. https://plasma2023.cosmos.ru/.

30. Марчук Р.А., Потапов А.С., Мишин В.В. Излучение красных спрайтов в диапазоне геомагнитных пульсаций // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 610 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 234. https://plasma2023.cosmos.ru/.

31. Marshalkina T.N. Short-Term DST Index Forecasting with Neutral Networks: A Review // Science Present and Future: Research Landscape in the 21st Century. Multidisciplinary Youth Academic Research Conference. Irkutsk, May 18, 2023: Тезисы докл. Иркутск: ИНЦ CO PAH, 2023. С. 56–57.

32. Мельников В.Ф., Мешалкина Н.С. Динамика системы магнитных петель во время солнечной вспышки 15.01.2022 // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 106. https://plasma2023.cosmos.ru/.

33. Мельников В.Ф., Мешалкина Н.С. Эффект сжатия корональных петель во время вспышки 24.02.2023 // Солнечная и солнечно-земная физика – 2023. XXVII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 9–13 октября 2023 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: Тезисы докл. СПб.: ГАО РАН, 2023. С. 84. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/ 2023/gao2023.pdf.

34. Мешалкина Н.С., Алтынцев А.Т. Тонкая структура как индикатор нетеплового энерговыделения в ярких корональных точках // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 77. https://plasma2023.cosmos.ru/.

35. Мотык И.Д., Сетов А.Г., Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К., Куприянова Е.Г., Мышьяков И.И., Жданов Д.А. Быстроживущее событие на фазе спада вспышки 22 мая 2021 // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 109. https://plasma2023.cosmos.ru/.

36. Муратова Н.О., Кашапова Л.К. Статистический анализ параметров радиовсплесков III типа по данным Солнечного спектрополяриметра метрового диапазона (ССМД) // Солнечная и солнечно-земная физика – 2023. XXVII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 9–13 октября 2023 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: Тезисы докл. СПб.: ГАО РАН, 2023. С. 90. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/ gao2023.pdf.

37. Пипин В.В. Нелокальные эффекты в динамо солнечного типа // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 25. https://plasma2023.cosmos.ru/.

38. Пипин В.В., Косовичев А.Г. Бюджет магнитного цикла в моделях солнечного динамо // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 51. https://plasma2023.cosmos.ru/.

39. Полухина С.А., Кашапова Л.К. Особенности эволюции слабой солнечной вспышки 03 февраля 2022 года // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 135. https://plasma2023.cosmos.ru/.

40. Полухина С.А., Кашапова Л.К. Короткое событие с продолжительной фазой спада по данным микроволновых наблюдений // Солнечная и солнечно-земная физика – 2023. XXVII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 9–13 октября 2023 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: Тезисы докл. СПб.: ГАО РАН, 2023. С. 103. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/gao2023.pdf.

41. Потапов А.С., Гульельми А., Клайн Б.И. К вопросу о спектре УНЧ-колебаний ионосферы в диапазоне Рс1 // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 293. https://plasma2023.cosmos.ru/.

42. Потравнов И.С. Химически пекулярные Ар/Вр звёзды на ранних стадиях эволюции // Всероссийская конференция с международным участием «Физика звезд: теория и наблюдения». 26–30 июня 2023 г., ГАИШ МГУ: Тезисы докл. 2023. https://agora.guru.ru/display.php?conf=stars-2023.

43. Рожкова Д.В., Кашапова Л.К., Мягкова И.Н. Моделирование временных профилей событий в солнечных космических лучах // Солнечная и солнечно-земная физика – 2023. XXVII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 9–13 октября 2023 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: Тезисы докл. СПб.: ГАО РАН, 2023. С. 107. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/gao2023.pdf.

44. Рожкова Д.В., Кашапова Л.К. Исследование связи между рентгеновским излучение во время солнечной вспышки и временными профилями событий в солнечных космических лучах с помощью моделирования // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 131. https://plasma2023.cosmos.ru/.

45. Тащилин А.В. Моделирование явлений в ионосфере высоких широт // Ш Летняя научная школа молодых ученых-космофизиков, посвященная 50-летию Якутской комплексной установки ШАЛ. 14–15 июня 2023 г., г. Якутск: Программа. 2023. https://indico.ysn.ru/event/6/.

46. Токарева Л.С., Скоморовский В.И., Кушталь Г.И. Электрооптический модулятор на основе эффекта Поккельса для наблюдения магнитных полей на Солнце // Всероссийская конференция «Современные инструменты и методы в астрономии». 4–9 сентября 2023 г., САО РАН: Тезисы докл. 2023. С. 16. https://crimea-2023.crao.ru/ abstracts/abstractbook.pdf.

47. Феденёв В.В., Анфиногентов С.А. Численное моделирование затухания медленных магнитозвуковых волн из-за эффекта смешивания фаз // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 428. https://plasma2023.cosmos.ru/.

48. Челпанов А.А., Кобанов Н.И. Наблюдательные признаки распространяющихся волн в окрестностях солнечных пятен // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 2023». КрАО РАН (Научный), 13–16 июня 2023 г.: Тезисы докл. Научный, 2023. https://sun.crao.ru/conferences/konferentsiya-magnetizm-i-aktivnost-solntsa-2023.

49. Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К., Zhang J., Жданов Д.А., Reid H.A.S., Мышьяков И.И. Слабая солнечная вспышка 3 июня 2021 г. в микроволновом и метровом диапазонах // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 108. https://plasma2023.cosmos.ru/.

50. Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К., Жданов Д.А. Пространственная структура микроволнового излучения лимбовой вспышки 5 февраля 2023 г. // Всероссийская конференция «Магнетизм и активность Солнца – 20232». КрАО РАН (Научный), 13–16 июня 2023 г.: Тезисы докл. Научный, 2023. С. 36. https://sun.crao.ru/conferences/ konferentsiya-magnetizm-i-aktivnost-solntsa-2023.

51. Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К., Жданов Д.А. Эволюция микроволновых источников в диапазоне 3–12 ГГц во время импульсной фазы лимбовой вспышки 5 февраля 2023 г. // Солнечная и солнечно-земная физика – 2023. XXVII Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца. 9–13 октября 2023 г., Санкт-Петербург, ГАО РАН: Тезисы докл. СПб.: ГАО РАН, 2023. С. 135. http://www.gaoran.ru/russian/solphys/2023/gao2023.pdf.

52. Шарыкин И.Н., Зимовец И.В., Мешалкина Н.С. Исследование предвестников замкнутой солнечной вспышки Х1.8 класса, произошедшей 23 октября 2012 г. // Восемнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе». 6–10 февраля 2023 г., Москва, ИКИ РАН: Тезисы докл. М.: ИКИ РАН, 2023. С. 86. https://plasma2023.cosmos.ru/.

53. Шиховцев А.Ю., Хайкин В.Б., Миронов А.П., Ниапд Q., Ковадло П.Г. Статистические характеристики осажденного водяного пара и облачности возможных мест размещения ESMT // Всероссийская конференция «Современные инструменты и методы в астрономии». 4–9 сентября 2023 г., САО РАН: Тезисы докл. 2023. С. 21. https://crimea-2023.crao.ru/abstracts/abstract-book.pdf.

54. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Чупраков С.А., Киселев А.В., Русских И.В., Дрига М.Б., Zhang L., Ran X., Rao C. Особенности построения узкопольной системы определения характеристик искажений волнового фронта для солнечного телескопа // Юбилейная XXX конференция «Аэрозоли Сибири», посв. 300-летию РАН. 28 ноября – 1 декабря 2023 г., Томск: Тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2023. С. 73. https://symp.iao.ru/files/iao/AerosoliSibiri_2023.pdf.

55. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Zhang L., Ran X., Rao C. Мониторинг оптической

турбулентности в местах расположения БСВТ и NVST в целях развития узкопольных систем солнечной адаптивной оптики // Юбилейная XXX конференция «Аэрозоли Сибири», посв. 300-летию РАН. 28 ноября – 1 декабря 2023 г., Томск: Тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2023. С. 74. https://symp.iao.ru/files/iao/AerosoliSibiri_2023.pdf.

56. Шиховцев А.Ю. Содержание водяного пара в атмосфере над некоторыми астроплощадками в макрорегионе расположения БТА // Юбилейная XXX конференция «Аэрозоли Сибири», посв. 300-летию РАН. 28 ноября – 1 декабря 2023 г., Томск: Тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2023. С. 36. https://symp.iao.ru/files/iao/AerosoliSibiri_2023.pdf.

5.9. Тезисы докладов на международных конференциях

1. Chelpanov A.A., Kobanov N.I. Wave propagation in and above sunspots // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 56. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

2. Chelpanov A. A., Chelpanov M. Empirical Mode Decomposition application to magnetospheric Pi variation data // The 28th IUGG General Assembly. Berlin, 2023: Abstracts. 2023. https://www.iugg2023berlin.org.

3. Demidov M.L., Hanaoka Y., Wang X.F. Impact of low boundary conditions on the predictions of some space weather parameters // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 81. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

4. Demyanov V.V. How to improve GNSS/SBAS reliability under space weather impacts: analysis // International Symposium on Satellite Navigation (ISSN 2023) Advances, Opportunities and Challenges. November 20–22, 2023, Jiaozuo, Henan, China: Congress Program. 2023. P. 14. http://218.196.240.235/SatelliteNavigation-ISSN2023.

5. Karakotov R.R., Kuznetsov A.A., Anfinogentov S. Statistical study of the sloshing oscillations in the flaring coronal loops // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 56. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

6. Karavaev Yu.A., Mishin V.V., Kapustin V.E., Lunyushkin S.B., Penskikh Yu., Marchuk R. Asymmetry in the distribution of electric currents of the magnetosphere ionosphere system in the autumn equinox pre-storm period // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 83. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

7. Klibanova Y., Mishin V.V., Marchuk R., Mikhalev A.V., Penskikh Yu. Bursts of PIB geomagnetic pulsations and airglow at middle latitudes during periodic substorm activations during strong magnetospheric storms // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 83–84. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

8. Kitchatinov L.L. Near-surface shear layer of solar rotation: Origin and significance // IAU Symposium 365. Dynamics of Solar and Stellar Convection Zones and Atmospheres. Yere-van, Armenia, 21–25 August, 2023: Book of Abstracts. Moscow, 2023. P. 15. http://iaus365.sinp.msu.ru.

9. Klimenko M., Klimenko V.V., Bessarab F.S., Sukhodolov T., Ratovsky K.G., Rozanov E.V., Belyuchenko K.V. Effect of neutral and electron temperature disturbances on the behavior of the high-latitude ionospheric electron density during various space weather phenomena // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 64. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

10. Klimushkin D., Mager P. Alfven resonance in realistic models of magnetosphere // AGU Chapman Conference. Berlin, Germany, 28 May – 2 June 2023: Abstracts. Berlin, 2023. #

1231247. https://agu.confex.com/agu/22chapman3/meetingapp.cgi/Paper/1231247.

11. Kosovichev A.G., Korzennik S.G., Pipin V.V. Helioseismic observations of solar torsional oscillations and evidence for dynamo waves // IAU Symposium 365. Dynamics of Solar and Stellar Convection Zones and Atmospheres. Yerevan, Armenia, 21–25 August, 2023: Book of Abstracts. Moscow, 2023. P. 41. http://iaus365.sinp.msu.ru/.

12. Marchuk R., Mishin V.V., Klibanova Y., Mikhalev A.V., Penskikh Yu. Some paradoxes in the evolution of 20 December 2015 magnetospheric storm // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 84–85. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

13. Mikhailova O.S., Klimushkin D., Mager O.V., Mager P., Rubtsov A.V., Smotrova E.E. Resonant generation of Alfvén waves by energetic protons and electrons in the magnetosphere // AGU Chapman Conference. Berlin, Germany, 28 May – 2 June 2023: Abstracts. Berlin, 2023. # 1231656. https://agu.confex.com/agu/22chapman3/meetingapp.cgi/Paper/1231656.

14. Mishin V.V., Marchuk R., Klibanova Y., Mikhalev A.V., Penskikh Yu. Dynamics of field-aligned currents, broadband pussations, and night airglow at middle latitudes during saw-tooth events // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P.18. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

15. Mishin V.V., Karavaev Yu.A., Kurikalova M.A., Kapustin V.E. Dynamics of distribution of field-aligned currents in the ionosphere of two hemispheres during pre-storm intervals in the equinox season // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P.18. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

16. Mishin V.V., Kurikalova M.A., Marchuk R., Penskikh Yu. Interhemispheric asymmetry in the distribution of electric currents of the magnetosphere ionosphere system in the spring equinox pre-storm period // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 85. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

17. Mishin V.V., Kurikalova M.A., Marchuk R., Penskikh Yu. Interhemispheric asymmetry in the distribution of electric currents of the magnetosphere ionosphere system in the spring equinox pre-storm period // International conference on substorms ICS 15, October 15–20, 2023, Cnina, Deqing: Abstracts. 2023. http://ics15.cssr.org.cn.

18. Parkhomov V.A., Eselevich V.G., Eselevich M.V. The role of the presence of alpha particles in proving the penetration of solar wind diamagnetic structures into the magnetosphere // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 57. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

19. Petrashchuk A.V., Klimushkin D., Mager P. Numerical study of coupled MHD waves in the solar corona // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 58. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

20. Pipin V.V. Doubling dynamo-wave frequency on fast rotating solar analogs? // IAU Symposium 365. Dynamics of Solar and Stellar Convection Zones and Atmospheres. Yerevan, Armenia, 21–25 August, 2023: Book of Abstracts. Moscow, 2023. P. 32. http://iaus365.sinp.msu.ru/.

21. Ratovsky K.G., Klimenko M., Vesnin A.M., Belyuchenko K.V., Yasyukevich Yu.V. Comparative analysis of statistical characteristics of magnetic storms identified by various indices // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P.20. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

22. Rubtsov A.V., Nosé M., Yamamoto K., Klimushkin D., Mager P., Kostarev D.V., Matsuoka A., Kasahara Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Shinohara I., Miyoshi Y. Spatial distribution and polarization features of Alfvén waves in the magnetosphere from Arase measurements // AGU Chapman Conference. Berlin, Germany, 28 May – 2 June 2023: Abstracts. Berlin, 2023. # 1231667. https://agu.confex.com/agu/22chapman3/meetingapp.cgi/Paper/1231667.

23. Smotrova E.E., Mager P., Mikhailova O.S., Klimushkin D. Influence of the asymmetric ionospheric conductivity on the structure of Alfven waves in the magnetosphere // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 48. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

24. Shelkov A.D., Vasilyev R.V., Artamonov M. Research of airglow intensity using data acquired by Irkutsk Scattering Radar and Fabri — Perot interferometers // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 67. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

25. Shubin V.N., Rubtsov A.V., Klimushkin D. Clustering of ULF waves by machine learning methods using THEMIS-A data // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 46. http://pgia.ru/seminar/Abstracts. html.

26. Sych R.A., Altyntsev A.T. Siberian Radioheliograph: sunspot oscillations in 3 6 GHz band // IMCP International Workshop and Space Weather School. Beijing, China, September 14–23, 2023): Programme. Beijing, 2023. http://imcp.ac.cn/en/events/2023IMCP/prog/sf/.

27. Tkachev I., Vasilyev R.V., Poletaev A.S., Chensky A.G. Thunderstorm activity monitoring in the Baikal natural area // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 69. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

28. Vashishth V., Karak B.B., Kitchatinov L.L. Modelling the long-term variability of sun-like stars: From subcritical to supercritical dynamos // IAU Symposium 365. Dynamics of Solar and Stellar Convection Zones and Atmospheres. Yerevan, Armenia, 21–25 August, 2023: Book of Abstracts. Moscow, 2023. P. 36. http://iaus365.sinp.msu.ru/.

29. Yakimchuk A.I., Rubtsov A.V., Klimushkin D. Spatial distribution of polarization of transverse ultra-low-frequency waves according to Van Allen Probe A satellite data // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 50. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

30. Yasyukevich Yu.V. Studying the Earth's ionosphere based on GNSS: results and plans for SIMuRG system // International Symposium on Satellite Navigation (ISSN 2023) Advances, Opportunities and Challenges. November 20–22, 2023, Jiaozuo, Henan, China: Congress Program. 2023. P. 12. http://218.196.240.235/SatelliteNavigation-ISSN2023/.

31. Артамонов М.Ф., Васильев Р.В. Модельные представления параметров атмосферы в контексте наземных наблюдений интерферометром Фабри — Перо // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023): Тезисы. Санкт-Петербург, 2023. С. 245–247. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

32. Башкирцев В.С., Машнич Г.П. Современная солнечная активность и климат Земли // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 14–15. http://www.crust.irk.ru/images/upload/ newsabout647/3967.pdf.

33. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Яковлева И.П., Васильев Р.В., Татарников А.В., Щеглова Е.С., Костылева Н.В. Использование широкоугольных камер Национального гелиогеофизического комплекса для мониторинга прозрачности атмосферы в ночное время // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 15–16. http://www.crust.irk.ru/ images/upload/newsabout647/3967.pdf.

34. Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Тащилин М.А., Васильев Р.В., Татарников А.В., Щеглова Е.С. Мониторинг прозрачности атмосферы в темное время суток по данным оптических инструментов Национального Гелиогеофизического комплекса // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023): Тезисы. Санкт-Петербург, 2023. С. 63–65. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

35. Белецкий А.Б., Насыров И.А., Подлесный С.В., Емельянов В.В., Сыренова Т.Е.

Исследование проявлений волновых возмущений в излучении атмосферной эмиссии 630.0 нм, стимулированных мощным КВ-радиоизлучением стенда СУРА // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023): Тезисы. Санкт-Петербург, 2023. С. 218–219. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

36. Белюченко К.В., Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г. Моделирование UT-эффекта возмущений параметров верхней атмосферы для геомагнитной бури в марте 2015 // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. P. 75. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

37. Белюченко К.В., Клименко М.В., Клименко В.В., Ратовский К.Г. Долготная зависимость ионосферного эффекта последействия геомагнитных бурь // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023): Тезисы. Санкт-Петербург, 2023. С. 243–244. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

38. Боровик А.В., Жданов А.А. Солнечные вспышки и особенности эволюции магнитных полей в активной области NOAA 12673 // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 18. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

39. Васильев Р.В., Тащилин М.А., Татарников А.В. Сопоставление динамики термальных точек и зарегистрированных гроз с динамикой молниевых разрядов на байкальской природной территории в 2012–2018 гг. // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023): Тезисы. Санкт-Петербург, 2023. С. 73. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

40. Васильев Р.В., Ратовский К.Г. Оценка воздействия спрайтов с GHOST на ионосферу по данным ионозонда DPS-4 и грозопеленгацонной сети «Верея-МР» // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023): Тезисы. Санкт-Петербург, 2023. С. 249–250. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

41. Веснин А.М., Ясюкевич Ю.В., Перевалова Н.П., Sentürk Е. Ионосферные возмущения, порожденные землетрясением в Турции-Сирии 6 февраля 2023 г. // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2023 г.: Тезисы докл. Москва, 2023. XXI.I.314. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249.

42. Головко А.А. О роли фрактального анализа в междисциплинарных исследованиях // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 23. http://www.crust.irk.ru/images/upload/ newsabout647/3967.pdf.

43. Григорьев В.М., Ермакова Л.В. Существуют ли активные долготы и какова структура крупномасштабного магнитного поля на фазе минимума солнечной активности? // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15-20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 25. http://www.crust.irk.ru/images/upload/ newsabout647/3967.pdf.

44. Громик Н.А., Ивонин В.А., Лебедев В.П., Куркин В.И. Информационноаналитическая система комплексного анализа радиофизических данных ИСЗФ СО РАН: измерительная информация ионозондов // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023 г.: Тезисы докладов. Москва, 2023. XXI.I.553. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249.

45. Данильчук Е.И., Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В., Сергеева М.А. Использование данных с высоким разрешением для более детального изучения ионосферы // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2023 г.: Тезисы докл. Москва,

2023. XXI.I.35. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249.

46. Едемский И.К., Ойнац А.В. Пространственные параметры среднемасштабных ПИВ в средних широтах по данным спутников SWARM // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15-20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 32– 33. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

47. Ермаков В.Ю., Лебедев В.П. Измерение и моделирование диаграммы направленности антенн типа «Дельта» // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023 г.: Тезисы докладов. Москва, 2023. XXI.I.554. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249.

48. Зоркальцева О.С., Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Артамонов М.Ф. Взаимодействие тропосферы и стратосферы до и после усиления Арктики 2000-х: изменчивость нелинейных процессов и корреляционные паттерны // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023): Тезисы. Санкт-Петербург, 2023. С. 212. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

49. Иванова В.А., Подлесный А.В., Поддельский А.И. Морфологические особенности проявления сумеречного эффекта на трассах наклонного зондирования // Солнечноземные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 38. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

50. Караваев Ю.С., Коробцев И.В., Мишина М.Н., Еселевич В.Г., Горяшин В.Е. Фотометрические наблюдения и моделирование формы космического мусора на средневысотных орбитах // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 40. http://www.crust.irk.ru/images/upload/ newsabout647/3967.pdf.

51. Ковадло П.Г., Шиховцев А.Ю., Язев С.А. Особенности современного климатического режима в полярных областях Земли // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 41–42. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

52. Костарев Д.В., Пилипенко В.А., Козырева О.В. Влияние космической погоды на трубопроводы в Арктической зоне России // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 43–44. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

53. Кузин С.В. Малоразмерная космическая аппаратура для гелио и геофизических исследований для кубсатов // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 44. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

54. Медведева И.В. Исследование многолетних вариаций температуры области мезопаузы и ее изменчивости в 24-м солнечном цикле // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023 г.: Тезисы докл. Москва, 2023. XXI.D.405. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249.

55. Медведева И.В., Ратовский К.Г. Множественный регрессионный анализ долговременных вариаций характеристик нейтральной атмосферы и ионосферы над Восточной Сибирью // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2023 г.: Тезисы докладов. Москва, 2023. XXI.I.185. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow. aspx?page=249.

56. Михайлова О.С., Климушкин Д.Ю., Магер П.Н., Магер О.В., Рубцов А.В., Смотрова Е.Е. Резонансная генерация магнитосферных альфвеновских волн энергичными протонами и электронами // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 53. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

57. Михалев А.В., Белецкий А.Б. Первые визуальные наблюдения SAR-дуги в Иркутске во время события Кэррингтона 1859 // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023 г.: Тезисы докл. Москва, 2023. XXI.I.18. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249.

58. Перевалова Н.П., Добрынина А.А., Шестаков Н.В., Болсуновский М.А., Саньков В.А., Золотухина Н.А. Эффекты извержения вулкана Хунга-Тонга в литосфере и атмосфере Земли // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 55. http://www.crust.irk.ru/images/upload/ newsabout647/3967.pdf.

59. Пархомов В.А., Еселевич В.Г., Еселевич М.В. Роль наличия альфа-частиц при доказательстве проникновения диамагнитных структур солнечного ветра внутрь магнитосферы // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. 2023. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

60. Рубцов А.В., Шубин Д.А., Якимчук А.И., Климушкин Д.Ю. Поляризация УНЧволн в магнитосфере Земли: неожиданные результаты спутниковых измерений // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 60. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

61. Серебренникова С.А. Модель мониторинга экваториальных пузырей // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023 г.: Тезисы докл. Москва, 2023. XXI.I.434. С. 335. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249.

62. Смотрова Е.Е., Михайлова О.С., Магер П.Н., Климушкин Д.Ю. Многоспутниковые наблюдения полоидальной УНЧ-волны в области кольцевого тока магнитосферы // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 70. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

63. Сорокин А.Г., Добрынин В.А. Атмосферный эффект извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 71. http://www.crust.irk.ru/images/upload/ newsabout647/3967.pdf.

64. Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Полетаев А.С., Ченский А.Г. Сопоставление координат молниевых разрядов со спутниковыми данными облачности над Байкальской природной территорией // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023 г.: Тезисы докладов. Москва, 2023. XXI.D.423. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow. aspx?page=249.

65. Толстиков М.В., Ойнац А.В., Ратовский К.Г., Медведева И.В. Исследование влияния внезапных стратосферных потеплений на волновые возмущения в верхней атмосфере по данным радиофизических инструментов // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023 г.: Тезисы докл. Москва, 2023. XXI.I.328. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249.

66. Турова И.П., Григорьева С.А., Ожогина О.А. Динамические процессы в спокойной области на Солнце по линиям САП // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 72. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

67. Хабитуев Д.С. Блокирующие свойства стратосферного полярного вихря в Северном полушарии во время зим 2019-2021гг. // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023): Тезисы. Санкт-Петербург, 2023. С. 259. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

68. Халипов В.Л., Сайбек Д., Котова Г., Степанов А.Е., Леонович А.С. Исследования субавроральной магнитосферы с помощью геофизических спутников и методом коротковолновой радиолокации // The 46th Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena", 13–17 March, 2023, Apatity: Abstracts. 2023. Р. 36. http://pgia.ru/seminar/Abstracts.html.

69. Черниговская М.А., Сетов А.Г., Ратовский К.Г., Калишин А.С., Степанов А.Е. Изменчивость ионосферы над Евразией во время магнитных бурь по данным цепи высокоширотных ионозондов // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023 г.: Тезисы докл. Москва, 2023. XXI.I.187. С. 338. http://conf.rse.geosmis.ru/ thesisshow.aspx?page=249.

70. Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г., Леженин А.А., Градов В.С., Зайко П.О., Хитриков М.А., Кириченко К.Е., Дрига М.Б., Киселев А.В., Русских И.В., Оболкин В.А., Шиховцев М.Ю. Оценка атмосферных характеристик в приложении к астрономическим телескопам наземного базирования // Международный симпозиум «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД – 2023): Тезисы. Санкт-Петербург, 2023. С. 213–214. https://events.spbu.ru/events/isard-2023.

71. Шубин Д.А., Якимчук А.И., Рубцов А.В., Климушкин Д.Ю. Кластеризация УНЧволн методами машинного обучения по спутниковым данным // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 77. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

72. Язев С.А., Исаева Е.С., Томозов В.М. Комплексы активности на Солнце как основной источник геоэффективных возмущений // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 77–78. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

73. Язев С.А., Исаева Е.С., Хос-Эрдэнэ Б. Развитие солнечной активности на фазе роста 25-го цикла Швабе – Вольфа // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15–20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 78. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

74. Язев С.А. Лунные кольца как возможная причина вариаций земного климата // Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона. XIV Росс.-Монг. междунар. конф. Иркутск, 15-20 сентября 2023 г.: Тезисы докл. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. С. 79-80. http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsabout647/3967.pdf.

75. Ясюкевич Ю.В., Падохин А.М., Веснин А.М., Быков А.Е., Киселев А.В., Иванов А.К., Ясюкевич А.С. Глобальное электронное содержание в 23–25 циклах солнечной активности // Двадцать первая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2023 г.: Тезисы докл. Москва, 2023. XXII.312. http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249.

Структура Института	3
1. Строительство и проектирование Национального гелиогеофизического комплекса Российской академии наук	6
1.1. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Радиогелиограф	6
1.2. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Оптические инструменты	9
1.3. Национальный гелиогеофизический комплекс РАН: Солнечный телескоп- коронограф	13
2. Основные научные результаты	15
2.1 Исследования в области физики Солнца, радиоастрофизики и физики космических лучей	15
2.1.1. Магнитные поля Солнца и природа солнечной активности	15
2.1.1.1. Модель динамо изменчивости циклов активности и глобальных минимумов для подобных Солнцу звезд: зависимость от скорости вращения	15
2.1.1.2. Нелокальные эффекты в динамо солнечного типа	15
2.1.1.3. Исследование вариаций времени переполюсовки полярного магнитного поля Солнца на основании анализа наблюдений и моделирования переноса поверхностного потока	16
2.1.1.4. Активные долготы и структура крупномасштабного магнитного поля в ми- нимуме солнечной активности	17
2.1.1.5. Особенности структуры и динамики активной области 12673, связанные со вспышками	18
2.1.1.6. 25-й цикл солнечной активности: первые три года	20
2.1.2. Исследование процессов хромосферной и корональной активности Солнца	21
2.1.2.1. Колебания солнечных пятен, наблюдавшиеся на Сибирском радиогелио- графе в диапазоне частот 3-6 ГГц	21
2.1.2.2. Взаимосвязи между микроволновыми всплесками и всплесками III типа в верхней короне	21
2.1.2.3. Динамические процессы в спокойной области на Солнце по линиям CaII	22
2.1.3. Развитие оптических методов экспериментальных исследований астро- физических объектов и околоземного космического пространства	23
2.1.3.1. Фотометрические наблюдения геостационарных космических аппаратов в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах	23
2.1.3.2. Магнитосферная аккреция на поздних стадиях эволюции до главной после- довательности. Случай RZ PSC	24

ЗИТА в ходе первых пяти рентгеновских обзоров всего неба обсерватории СРГ 214 Мониторинг межиданетного пространства в периоды спорадических	25
	26

21/1 Мониторинг гелиосферы, магнитосферы и атмосферы по эффектам в кос-	
ических лучах в августе 2018 г.	26
2.1.4.2. Наземное возрастание интенсивности космических лучей 24 августа 1998 г.	27
2.1.4.3. Вариации космических лучей магнитосферного и атмосферного происхож- дения, параметры магнитосферных токовых систем во время геомагнитных возму- щений в мае 1998 г., сентябре 2017 и августе 2018 г.	28
2.1.4.4. Взаимосвязь параметров магнитосферы с жесткостью обрезания космических лучей в зависимости от широты	29
2.1.4.5. Наблюдение космических лучей на станциях ИСЗФ СО РАН	30
2.2. Исследования в области физики околоземного космического пространства	30
2.2.1. Развитие новых методов диагностики состояния атмосферы и ионосферы радиофизическими методами с использованием инструментов, работающих в различных диапазонах электромагнитных волн	30
2.2.1.1. Аппроксимация вариаций параметров ионосферы и мезосферы в цикле солнечной активности с использованием различных индексов	30
2.2.1.2. Анализ регулярности наблюдения суточных и субсуточных волн в нижних слоях ионосферы по данным среднеширотных радаров SuperDARN и SEKIRA	31
2.2.1.3. Эмпирическая нейросетевая прогностическая модель для критической частоты <i>f</i> _o F2 на средних широтах с заблаговременностью до 24 часов	33
2.2.1.4. Информационно-аналитическая система комплексного анализа радиофизи- ческих данных ИСЗФ СО РАН: первые результаты. Верификация моделей ионосферы по данным ИРНР и ГНСС	34
2.2.1.5. Исследование вариаций мощности радиолокационного сигнала от спутников группировки «Starlink» по данным Иркутского радара некогерентного рассеяния	35
2.2.1.6. Корреляционный анализ абсолютных измерений солнечного потока на частотах 161 и 245 МГц	36
2.2.1.7. Статистический анализ индексов геомагнитной активности	37
2.2.1.8. Анализ частоты девиации сигналов глобальных навигационных спутниковых систем	38
2.2.1.9. Исследования связи перемещающихся ионосферных возмущений с нейтральным ветром по данным радаров когерентного рассеяния	39

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	40
2.2.2.1. Моделирование КВ-радиоканала на основе волноводного подхода	40
2.2.2.2. Метод автоматического определения параметров ионосферы по данным вертикального зондирования ионосферы	41
2.2.2.3. Автоматическая интерпретация ионограмм наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ-сигналом на основе гибридных алгоритмов	42

2.2.2.4. Статистическое исследование рассеяния декаметровых радиоволн на ионо- сферных неоднородностях по данным КВ-радаров ЕКВ и MGW	43
2.2.2.5. Учет шероховатости земной поверхности в моделях распространения и рассеяния радиоволн	44
2.2.2.6. Характеристики и продольная протяженность ОНЧ квазипериодических эмиссий по данным мультипозиционных наземных измерений	45
2.2.2.7. Статистическое исследование продольной протяженности пульсаций Pc1 с использованием наземных станций PWING в субавроральных широтах	46
2.2.2.8. Определение наинизших наблюдаемых частот по данным наклонного зон- дирования во время рентгеновских солнечных вспышек	47
2.2.2.9. Зоны влияния ПИВ различных масштабов на ионограммы наклонного зон- дирования ионосферы	48
2.2.2.10. Исследование характеристик среднемасштабных перемещающихся ионо- сферных возмущений по данным наклонного зондирования непрерывным ЛЧМ- сигналом	49
2.2.2.11. Способ местоопределения источников декаметрового радиоизлучения	50
2.2.3. Изучение состояния и динамики атмосферы Земли на различных вре- менных масштабах под влиянием геофизических, космических и антропоген- ных воздействий	51
2.2.3.1. Изучение возможности использования электрического потенциала ионо- сферы в качестве параметра, характеризующего воздействие солнечной активности на тропосферу	51
2.2.3.2. Анализ пространственного распределения тропосферного отклика на воз- действие электрического потенциала ионосферы	52
2.2.3.3. Асимметрия ионосферного отклика на землетрясения в Турции и Сирии 6 февраля 2023 г.	53
2.2.3.4. Возмущения в ионосфере, вызванные подземным ядерным испытанием в	
Северной Корее 5 сентяоря 2017 г.	54
Северной Корее 5 сентяоря 2017 1.	54

2.2.3.6. Ретроспективный анализ многолетних региональных особенностей динамического режима ионосферы над югом Восточной Сибири 56

2.2.4. Геофизический мониторинг и комплексные наблюдения параметров атмосферы Земли и околоземного космического пространства для исследований в солнечно-земной физике 57

 2.2.4.1. Влияние магнитного поля и конфигурации среднего течения на пространственную структуру и скорость роста нормальных мод
 57

2.2.4.2. Исследование всплесков широкополосных пульсаций РіВ и вариаций интенсивностей эмиссий 557.7 и 630.0 нм в периоды суббуревых активизаций в ходе сильных магнитосферных бурь 59

61

2.2.4.3. Климатология слоя свечения 557.7 нм над Восточной Сибирью

2.2.4.4. Долговременная изменчивость параметров внезапных стратосферных

потеплений по данным реанализа ERA5	63
2.2.4.5. Отклик температуры воздуха на повторяемость блокирования в Атлантико- Евроазиатском секторе в осенне-зимний период	64
2.2.4.6. Особенности вариаций аэрозольной оптической толщи в Байкальском регионе по данным экспедиционных измерений в 2018–2022 гг.	66
2.2.4.7. Оценка эффективности пространственного инфраакустического фильтра	68
2.2.4.8. Атмосферный эффект извержения вулкана Hunga Tonga Haapai	69
2.2.4.9. Модельные представления параметров атмосферы в контексте наземных наблюдений интерферометром Фабри — Перо	71
2.2.4.10. Численное моделирование свечения атмосферы на длине волны 6300 Å с использованием моделей IRI и MSIS, а также данных Иркутского радара некогерентного рассеяния	72
2.2.4.11. Калибровка прототипа интерферометра Фабри — Перо для Национального гелиогеофизического комплекса	74
2.2.4.12. Первые визуальные наблюдения SAR-дуги в Иркутске во время события Кэррингтона 1859 г.	77
2.2.4.13. Оценка воздействия спрайтов с GHOST на ионосферу по данным ионозон- да DPS-4 и грозопеленгацонной сети «Верея-МР»	77
2.2.4.14. Сопоставление динамики термальных точек и зарегистрированных пожаров с динамикой молниевых разрядов на Байкальской природной территории в 2012–2018 гг.	80
2.2.4.15. Создание сети грозопеленгационных пунктов ИСЗФ СО РАН	84
2.2.4.16. Мониторинг прозрачности атмосферы в темное время суток по данным оптических инструментов Национального гелиогеофизического комплекса	88
2.2.4.17. Исследование проявлений волновых возмущений в излучении атмосферной эмиссии 630.0 нм, стимулированных мощным КВ-радиоизлучением стенда СУРА	91
2.2.5. Возмущения электромагнитного поля и плазмы в системе солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера	92
2.2.5.1. Радиальная структура квазимонохроматических альфвеновских колебаний, наблюдаемых на спутнике	92
2.2.5.2. Дисперсия и пространственная структура связанных альфвеновских и медленных магнитозвуковых колебаний в солнечной короне	93
2.2.5.3. Исследование взаимодействия ультранизкочастотных волн с электронами	94
2.2.5.4. Масштабно-инвариантная мода в бесстолкновительных сферических звездных системах	95
2.2.5.5. Распространение внутренних гравитационных волн на фоне стационарного течения в канале изменяющейся ширины	95
2.2.5.6. Воздействие космической погоды на наземные транспортные системы	96
2.2.5.7. Геомагнитный мониторинг для снижения риска для трубопроводов от кос- мической погоды	97
2.2.5.8. Разработка методов исследования глобальной грозовой активности на основе	

измерений шумановских резонансов	97
2.2.5.9. Распределение поляризации поперечных УНЧ-волн по данным Van Allen Probe A: существуют ли раздельно тороидальные и полоидальные волны в магни-тосфере?	98
2.2.5.10. Определение понятия альфвеновской моды в неоднородном магнитном поле	99
2.2.5.11. Ультранизкочастотные резонаторы: к 80-летию открытия волн Альфвена	100
2.2.5.12. О спектре ультранизкочастотных колебаний ионосферы в диапазоне Pc1	100
2.2.5.13. Оценка максимума электронной концентрации области F2 ионосферы по данным о частоте гармоник ионосферного альфвеновского резонатора	101
2.2.5.14. Резкое увеличение альфвеновской скорости как индикатор плазмопаузы	101
2.2.5.15. Поляризация и особенности пространственного распределения волн Рс4 и Рс5 в магнитосфере	102
2.2.5.16. Контроль распределения УНЧ-волн плазмосферой при разных геомагнит- ных условиях	103
2.2.5.17. Диагностика ионосферной проводимости на основе наблюдений магнито- сферных УНЧ-волн космическими аппаратами	104
2.2.5.18. Дисперсия и пространственная структура связанных альфвеновских и медленных магнитозвуковых мод в дипольной магнитосфере	105
2.2.6. Развитие новых методов прогнозирования в системе Солнце — Земля	106
2.2.6.1. Эффекты биполярных групп в модели динамо солнечных циклов 23 и 24	106
2.2.6.2. Влияние взрывных процессов в активных областях на колебания параметров магнитного поля в тени солнечных пятен	107
2.2.6.3. Мониторинг параметров магнитосферы по эффектам в космических лучах в августе 2018 г.	108
2.2.6.4. Качество операционных и эмпирических ионосферных моделей: ошибки полного электронного содержания и точность позиционирования	110
2.2.6.5. Взаимосвязь солнечного излучения различных диапазонов и ионосферных индексов	111
2.3. Развитие методов и аппаратуры исследований в области астрофизики и геофизики	112
2.3.1. Методы и инструменты астрофизического эксперимента	112
2.3.1.1. Развитие технологии изготовления электрооптических модуляторов для наблюдений солнечных магнитных полей	112
2.3.1.2. Различия в прогнозе скорости солнечного ветра, вызванные использованием синоптических карт различных обсерваторий	113
2.3.1.3. Механизм нагрева плазмы эруптивного протуберанца, выявленного по микроволновым наблюдениям на Сибирском радиогелиографе	114
2.3.1.4. Модель нейронной сети для оценки полной ширины функции размытия точки на ее полувысоте в приложении к Крупному солнечному телескопу	115
2.3.1.5. Определение допустимых ошибок юстировки предфокального корректора главного зеркала АЗТ-14 и разработка методов контроля в условиях обсерватории	117

3. Работа обсерваторий, Центр коллективного пользования «Ангара», Уни- кальные установки	118
3.1. Байкальская астрофизическая обсерватория	118
3.2. Саянская солнечная обсерватория	119
3.3. Радиоастрофизическая обсерватория	121
3.4. Геофизическая обсерватория	123
3.5. Обсерватория радиофизической диагностики атмосферы	125
3.6. Комплексная магнитно-ионосферная обсерватория	128
3.6.1. Магнитная обсерватория (п. Патроны)	128
3.6.2. Байкальская магнитно-теллурическая обсерватория	129
3.7. Норильская магнитно-ионосферная станция	130
3.7.1. Выносной наблюдательный пункт «Исток»	131
3.8. Центр коллективного пользования «Ангара»	132
3.9. Уникальные научные установки	133
3.9.1. Сибирский радиогелиограф (Сибирский солнечный радиотелескоп (рег. номер 01-27))	133
3.9.2. Иркутский радар некогерентного рассеяния (рег. номер 01-28)	135
3.9.3. Большой солнечный вакуумный телескоп (рег. номер 01-29)	136
	1.00
4. научно-организационная деятельность	138
4. Научно-организационная деятельность4.1. Общие сведения	138 138
4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета	138 138 139
4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета	138 138 139 140
4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество	138 138 139 140 141
4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность	138 138 139 140 141 143
4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки	138 138 139 140 141 143 144
4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки 4.7. Образовательная деятельность	138 138 139 140 141 143 144 144
4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки 4.7. Образовательная деятельность 4.8. Работа с вузами	138 138 139 140 141 143 144 144 144 147
 4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки 4.7. Образовательная деятельность 4.8. Работа с вузами 4.9. Работа Научно-образовательного центра 	138 138 139 140 141 143 144 144 144 144 144 144 144 144
 4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки 4.7. Образовательная деятельность 4.8. Работа с вузами 4.9. Работа Каучно-образовательного центра 4.10. Работа музея ИСЗФ СО РАН 	138 138 139 140 141 143 144 144 144 144 145 150
 4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки 4.7. Образовательная деятельность 4.8. Работа с вузами 4.9. Работа Научно-образовательного центра 4.10. Работа музея ИСЗФ СО РАН 4.11. Работа Совета научной молодежи Института 	138 138 139 140 141 143 144 144 144 144 1450 150 151
 4. Научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки 4.7. Образовательная деятельность 4.8. Работа с вузами 4.9. Работа Научно-образовательного центра 4.10. Работа музея ИСЗФ СО РАН 4.11. Работа Совета научной молодежи Института 4.12. Проведение научных мероприятий 	138 138 139 140 141 143 144 144 144 144 1450 151 152
 4. Научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки 4.7. Образовательная деятельность 4.8. Работа с вузами 4.9. Работа Научно-образовательного центра 4.10. Работа музея ИСЗФ СО РАН 4.11. Работа Совета научной молодежи Института 4.13. Участие в выставках 	138 138 139 140 141 143 144 144 144 144 1450 151 152 154
 4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки 4.7. Образовательная деятельность 4.8. Работа с вузами 4.9. Работа Научно-образовательного центра 4.10. Работа музея ИСЗФ СО РАН 4.11. Работа Совета научной молодежи Института 4.12. Проведение научных мероприятий 4.14. Участие в выставках 4.14. Участие в научных мероприятиях 	138 138 139 140 141 143 144 144 144 144 145 150 151 152 154 155
 4. научно-организационная деятельность 4.1. Общие сведения 4.2. Деятельность Ученого совета 4.3. Деятельность диссертационного совета 4.4. Международное сотрудничество 4.5. Издательская деятельность 4.6. Работа библиотеки 4.7. Образовательная деятельность 4.8. Работа с вузами 4.9. Работа Научно-образовательного центра 4.10. Работа Музея ИСЗФ СО РАН 4.11. Работа Совета научных мероприятий 4.13. Участие в научных мероприятиях 4.14. Участие в научных мероприятиях 	138 138 139 140 141 143 144 144 144 144 145 150 151 152 154 155

5. Публикации	157
5.1. Российские издания	157
5.2. Зарубежные издания (и переводные)	161
5.3. Монографии	169
5.4. Результаты интеллектуальной деятельности	169
5.5 Электронные издания	169
5.6. Доклады на российских конференциях	170
5.7. Доклады на международных, в том числе зарубежных, конференциях	175
5.8. Тезисы докладов на российских конференциях	179
5.9. Тезисы докладов на международных конференциях	184
Содержание	191

Отв. редактор *И.И. Салахутдинова* Редакторы *Н.О. Волкова, М.В. Никонова* Технические редакторы *М.В. Никонова, Н.О. Волкова*

> Отпечатано в издательском отделе ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Лермонтова 126А, а/я 291, и в ИП Юмашева А.Н. 664025, Иркутск, ул. Ленина, 6