

ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2014 Г.

I. ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЫ

(раздел II «Физические науки», п. 12 и п. 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

1. Солнечные телескопы оперативных прогнозов

Разработаны, изготовлены и установлены в ряде обсерваторий России новые поколения телескопов для оперативных прогнозов солнечной активности, позволяющие получать ежедневные данные о крупномасштабных магнитных полях на диске Солнца и с высоким временным разрешением следить за возникновением и развитием вспышечных процессов и корональных выбросов массы. Телескопы являются частью воссоздаваемой национальной Службы Солнца, предназначенной для непрерывных наблюдений и анализа солнечной активности, прогноза космической погоды и оценки влияния солнечной активности на солнечно-земные связи (ИСЗФ СО РАН, ГАО РАН, Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, ИПГ Росгидромета).

Аннотация

а) Солнечные телескопы оперативных прогнозов

Три телескопа СТОП разработаны и изготовлены ИСЗФ СО РАН и Институтом автоматизации и электрометрии СО РАН и установлены в трех обсерваториях России. Телескопы предназначены для получения ежедневных данных о крупномасштабных магнитных полях на диске Солнца (рис. 1). Информативность и точность измерений напряженности магнитного поля являются лучшими для подобных систем в мире. Первые регулярные наблюдения позволили зарегистрировать переполюсовку магнитного поля Солнца, завершившуюся в сентябре 2014 года.

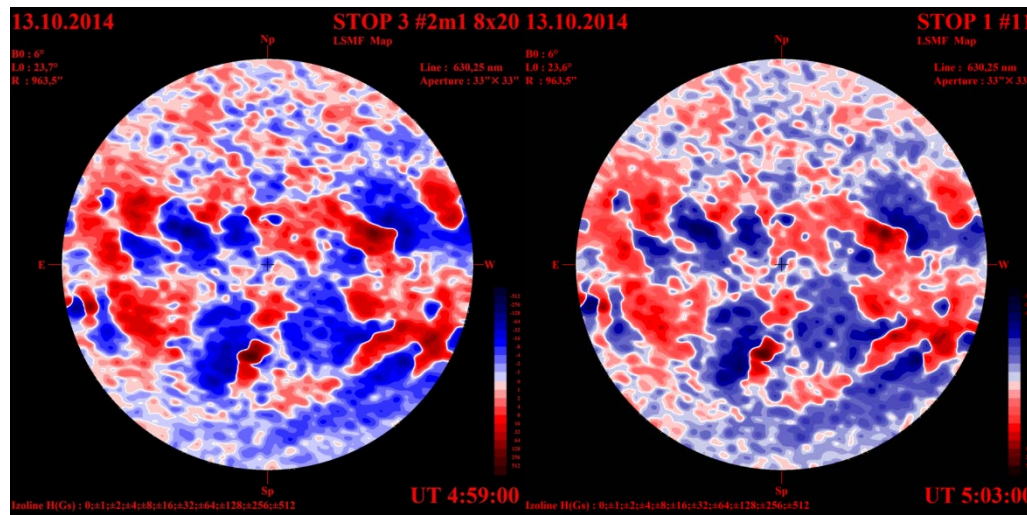


Рисунок 1. Пример карт измеренных магнитных полей Солнца за 13 октября 2014г., полученных почти одновременно в ГАС ГАО (СТОП-3) и Байкальской астрофизической обсерватории (СТОП-1)

Телескопы является частью воссоздаваемой национальной Службы Солнца, предназначенной для непрерывных наблюдений и анализа солнечной активности, прогноза космической погоды и оценки влияния солнечной активности на солнечно-земные связи. Это позволит проводить комплексные регулярные наблюдения солнечной активности на всех высотах солнечной атмосферы от фотосферы до солнечной короны. Данные сети Службы Солнца являются критически важными для освоения космического пространства, систем навигации, дальней и мобильной радиосвязи, безопасности распределенных технологических систем и других технологий.

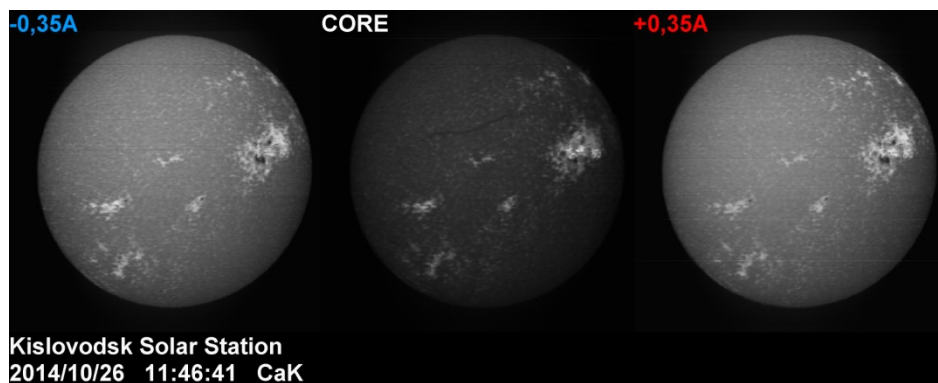
Публикации:

1. Тлатов А.Г., Дормидонтов Д.В., Шрамко А.Д., Кирпичев Р.В., Пашенко М.П., Пещеров В.С., Григорьев В.М., Демидов М.Л., Свидский П.М. “Первые результаты наблюдений крупномасштабных магнитных полей Солнца на телескопе-магнитографе СТОП на Горной станции ГАО РАН”, сб. трудов Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика — 2014», 2014.
2. В.С. Пещеров, В.М. Григорьев, П.М. Свидский, А.Н. Бевзов, К.И. Будников, С.В. Власов, А.А. Зотов, В.Н. Котов, А.К. Китов, А.А. Лубков, С.А. Лылов, С.В. Перебейнос «Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения», Автометрия, 2013, №6, С.62-69.

б) Патрульный телескоп-спектрогелиограф нового поколения и возрождение наземной отечественной службы Солнца

На Горной станции ГАО РАН создан и уже эксплуатируется в течение 3 лет автоматический патрульный телескоп-спектрогелиограф нового поколения, позволяющий с высоким временным разрешением следить за возникновением и развитием вспышечных процессов и корональных выбросов массы на Солнце, способных вызвать последующие геомагнитные возмущения, опасные для деятельности человека (аварии трубопроводов, электросетей, помехи в космонавтике, полярной авиации). Создана концепция возрожденной наземной отечественной службы Солнца, которая позволит закрепить на новом уровне то лидирующее положение, которое она занимала в мире в 20-м веке, и устранить зависимость отечественных прогнозов космической погоды от данных зарубежных космических аппаратов.

- Патенты: 1. Солнечный патрульный оптический телескоп, Патент РФ на полезную модель, № 115082, Дата приоритета, Тлатов А.Г., Середжинов Р.Т., Свидский П.М., Дормидонтов Д.В., Якунин Л.Н. Дата приоритета 20.04.2012.
2. Солнечный патрульный фотосферно-хромосферный телескоп, Патент РФ на полезную модель, № 126854, Дата приоритета, Тлатов А.Г., Середжинов Р.Т., Свидский П.М., Розивика И.Г. Дата приоритета 08.10.2012.



Изображения Солнца в линии К CaII и ее красном и синем крыльях, полученные на автоматическом патрульном телескопе Горной станции ГАО РАН

Проект сети обновленной наземной отечественной службы Солнца. Кроме указанных пунктов, планируется размещение телескопов на Кубе (ИГА Кубы) и Боливии (Тариха), что позволит производить слежение за процессами космической погоды 24 часа в сутки.



2. Проблема поляризации солнечного радиоизлучения с зебра-структурой

Решена проблема происхождения поляризации солнечного радиоизлучения с тонкой структурой спектра типа зебра, которое, как правило, сильно поляризовано, причем знак поляризации соответствует обыкновенной волне. Показано, что заметная поляризация может возникнуть только в случае, если наблюдаемое радиоизлучение есть результат рассеяния плазменных волн на ионах или слияния их с низкочастотными волнами в электромагнитное излучение на частоте основного тона. В этом случае обыкновенная волна свободно выходит с уровня генерации, а необыкновенная волна попадает в зону затухания и не покидает источник. В результате выходящее радиоизлучение оказывается полностью поляризованным со знаком обыкновенной волны. Приведены возможные причины деполяризации радиоизлучения с зебра-структурой. (ИПФ РАН, ИСЗФ СО РАН).

Публикация:

E.Ya.Zlotnik, V.V.Zaitsev, A.T.Altynsev, On polarization of the Zebra Pattern in Solar Radio Emission, *Solar Phys* (2014) V.289, PP. 233–249, DOI 10.1007/s11207-013-0327-3.

Аннотация

Зебра-структура представляет собой самую интересную разновидность тонкой структуры на динамических спектрах радиоизлучения Солнца. Она представляет собой квазигармонические параллельно дрейфующие полосы повышенной интенсивности, которые наблюдаются на фоне континуума IV типа, и присутствует во всем диапазоне наблюдаемых радиоволн – от сантиметровых до дециметровых волн. Наблюдаемые свойства зебра-структуры объясняются в рамках теории, основанной на эффекте двойного плазменного резонанса, который реализуется в неоднородной магнитной ловушке, заполненной слабоанизотропной равновесной плазмой с небольшой примесью неравновесных по поперечным относительно магнитного поля скоростям. Эффект двойного плазменного резонанса состоит в том, что инкремент неустойчивости, вызванной такими электронами, сильно возрастает в тех областях, где частота верхнего гибридного резонанса $f_{UH} = \sqrt{f_p^2 + f_B^2}$ (или плазменная частота в слабоанизотропной корональной плазме) совпадает с гармониками электронной гирочастоты: $f_p = s f_B$. Именно такие уровни и являются источниками разрешенных полос повышенной яркости.

Согласно имеющимся в мировой литературе данным, радиоизлучение в зебра-полосах сильно поляризовано, и знак поляризации, вероятнее всего, соответствует обыкновенной волне. В рамках плазменного механизма генерации поляризация радиоизлучения, принимаемого на Земле, обусловлена разной интенсивностью трансформации плазменных волн в обыкновенные или необыкновенные волны или разными условиями выхода этих волн из источника. В

слабоанизотропной плазме, которая является источником зебра-структуры с достаточно высокими номерами гармоник s , степень поляризации радиоизлучения на удвоенной плазменной частоте, возникшего в результате комбинационного рассеяния плазменных волн, пропорциональна малому фактору - отношению электронной гирочастоты к плазменной частоте, и не может быть значительной. Заметная поляризация может возникнуть только в случае, если наблюдаемое радиоизлучение есть результат рассеяния плазменных волн на ионах или слияния их с низкочастотными волнами. В этом случае обыкновенная волна свободно выходит из источника генерации, а необыкновенная волна попадает в зону затухания и не покидает источник. В результате выходящее радиоизлучение оказывается полностью поляризованным со знаком обыкновенной волны. Выяснены также возможные причины деполаризации радиоизлучения с зебра-структурой.

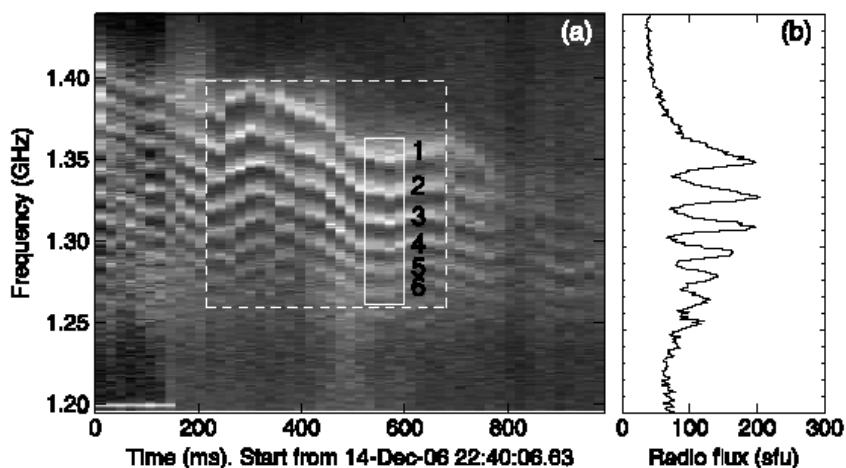


Рис. Зебра-структура в радиоизлучении солнечной вспышки.

Лабораторное моделирование механизма генерации внеземного радиоизлучения типа «зебра»

- На оборудовании ИПФ РАН проведено лабораторное моделирование механизма генерации внеземного радиоизлучения типа «зебра», которое наблюдается в спектрах самых различных объектов – пульсара в Крабовидной туманности, Солнца, Сатурна и ряда других и проявляется в виде системы ярких квазиэквидистантных полос на динамическом спектре радиоизлучения. Этот универсальный механизм представляет собой возбуждение плазменных волн на частотах двойного плазменного резонанса (т.е. при совпадении плазменной частоты с циклотронной частотой неоднородной плазмы в области генерации) с последующей трансформацией этих волн в наблюдаемое радиоизлучение при рассеянии на протонной компоненте плазмы в источнике.

В условиях эксперимента плазма создавалась источником мощного микроволнового излучения и удерживалась в зеркальной магнитной ловушке. При совпадении частоты верхнего гибридного резонанса для плазменных волн с гармоникой гирочастоты возникало интенсивное узкополосное излучение, моделирующее полосы зебра-структуры на динамических спектрах радиоизлучения. В эксперименте обнаружен также пульсирующий режим неустойчивости на двойном плазменном резонансе, модулирующий зебра – структуру и дающий дополнительные возможности для диагностики источников космического радиоизлучения.

Публикация:

М.Е. Викторов, С.В. Голубев, В.В. Зайцев, Д.А. Мансфельд, Импульсно-периодический режим кинетической неустойчивости плазмы ЭЦР разряда в условиях двойного плазменного резонанса, Известия ВУЗов, Радиофизика, 2014, № 12.

3. Механизм нагрева вспышечных лент

Выявлена сверхтонкая структура вспыхечных лент во вспышке C2.1 15 августа 2013 г. и предложен механизм их нагрева. Показано, что так называемая "стандартная" модель солнечной вспышки, которая предполагает нагрев хромосферы и фотосферы ускоренными в короне электронами и ионами, нуждается в пересмотре. Более того, необходимо вернуться к понятию "хромосферная вспышка". (ИКИ РАН)

Ленты длиной 10000 км состояли из ярких ядер размером ~ 100 км. Наблюдения выполнены новым 1.6 м солнечным телескопом NST/BBSO (США) в $\text{H}\alpha$ вблизи его дифракционного предела 70 км, примерно соответствующему длине свободного пробега фотона $\text{H}\alpha$. Результаты наблюдений следующие:

- Формирование вспыхечных лент происходило без участия ускоренных частиц, так как УФ и $\text{H}\alpha$ излучение наблюдалось во вспыхечной области задолго до появления жесткого рентгеновского излучения.
- $\text{H}\alpha$ ленты совпадали с вертикальными электрическими токами на фотосфере. Эволюция токов показала, что механизмом нагрева лент может являться джоулев нагрев плазмы за счет диссипации токов.

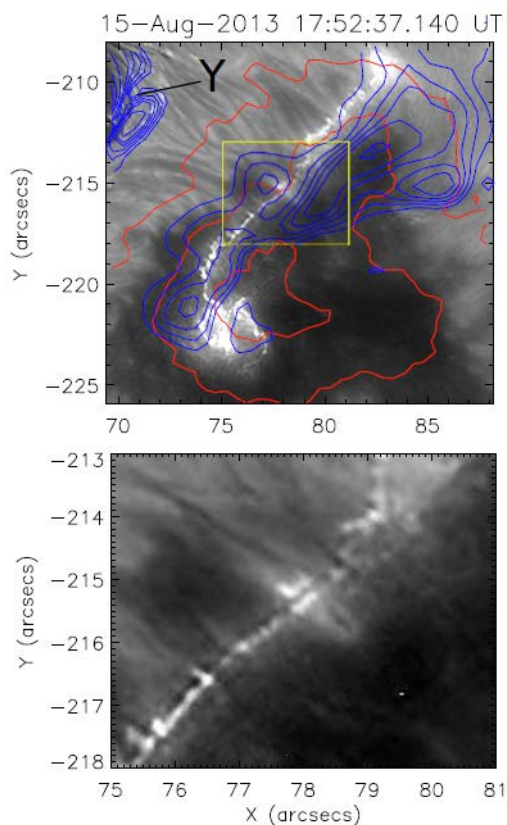


Рис. Вспышка класса C2.1 15 августа 2013 г. Наблюдается ранее не разрешимая тонкая структура вспыхечных $\text{H}\alpha$ -лент. Ленты состоят из ярких ядер размером 70-100 км.

Ещё одно свидетельство нагрева хромосферы *in situ* было также получено на телескопе NST/BBSO (Ji Haisheng et al. ApJ **750**, L25, 2012).

Публикация:

Sharykin I., Kosovichev A. // Fine Structure of Flare Ribbons and Evolution of Electric Currents, ApJ **788**, L18, 2014.

II. ФИЗИКА МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

1. Разгадка причин сильнейшей геомагнитной бури

Анализ данных наблюдений Солнца и околоземного пространства, представленный в цикле из четырех статей, установил причины сильнейшей почти за четверть века геомагнитной бури 20 ноября 2003 г., вызванной рядовой по энергетике солнечной эрупцией (Рис. 1а–е). Восстановлен сценарий события от солнечной эрупции до её геоэффективных последствий, не поддававшийся разгадке, несмотря на десяток предшествовавших исследований. (ИСЗФ СО РАН (Иркутск), ИЗМИРАН (Троицк), ФИАН (Москва) при участии исследователей из Австралии, Австрии и США)

Источником бури явилась аномальная эрупция солнечного протуберанца: произошло пересоединение его магнитных структур с окружающими статическими магнитными полями (Рис. 1f–i). Пролёт протуберанца через окрестность особой точки магнитного поля привёл к топологической катастрофе вдали от места вспышки и образованию замкнутой магнитной структуры – сферомака, похожего на тор без отверстия (Рис. 1i–k). Катастрофа произошла вблизи центра солнечного диска. Поэтому сферомак двигался точно к Земле, необычно слабо расширяясь в межпланетной среде, возмущенной предшествовавшими корональными выбросами (Рис. 2). Слабое расширение сферомака способствовало сохранению в нём сильного магнитного поля и не позволило обнаружить его коронографами. Южная ориентация магнитного поля в сферомаке соответствовала направлению поля в области его образования. Выявлены признаки, позволяющие заблаговременно предупреждать о возможности таких событий.

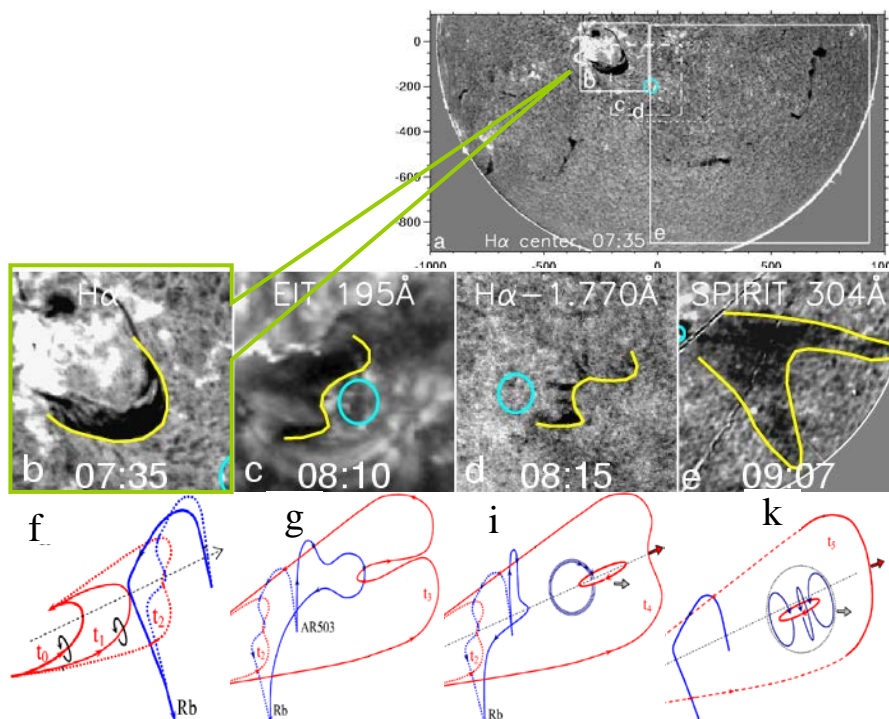


Рис. 1. Наблюдавшийся в разных спектральных диапазонах протуберанец и его трансформация после прохождения магнитной нулевой точки (а–е): а, б) до эрупции (Обсерватория Канцельхойе – KSO, линия H α), в) столкновение с корональной структурой (SOHO/EIT, 195 Å), д) изменение формы после столкновения (KSO, дальнее синее крыло линии H α), е) облако плазмы, образованное веществом протуберанца (КОРОНАС-Ф/СПИРИТ, 304 Å). Рамки на изображении (а) обозначают области (б)–(е). Внизу: формирование сферомака в результате

топологической катастрофы эруптивного протуберанца и магнитных пересоединений ($f \rightarrow k$), приведших к изменению знака спиральности эруптивной структуры.

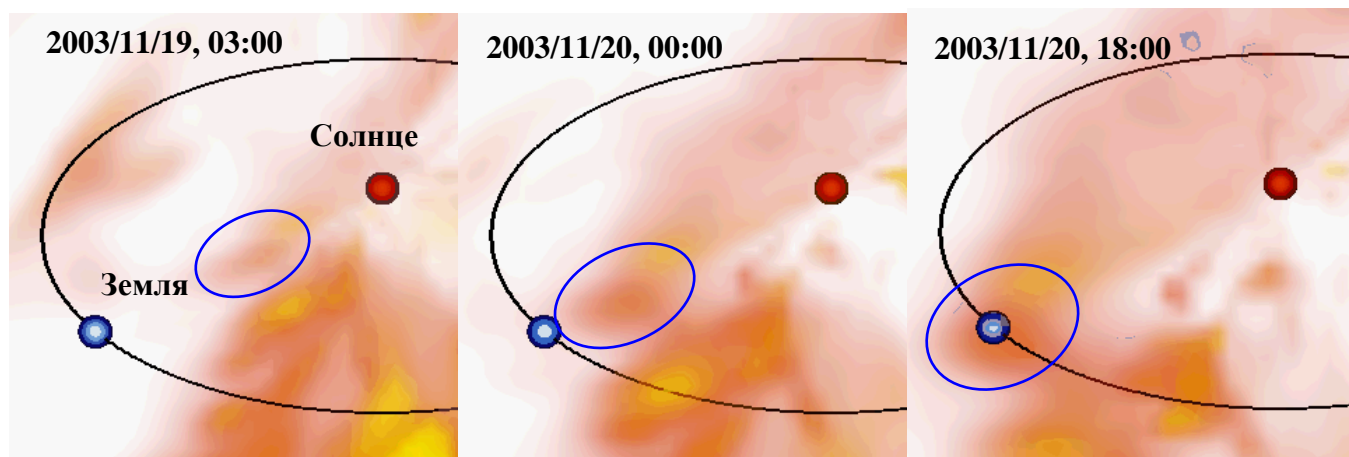


Рис. 2. Область повышенной плотности в сферомаче (обведена голубым овалом), движущемся от Солнца к Земле, на трёхмерных распределениях плотности в гелиосфере, восстановленных в Калифорнийском Университете Сан-Диего по данным наблюдений Solar Mass Ejection Imager (SMEI).

Публикации:

Grechnev V.V., A.M. Uralov, V.A. Slemzin, I.M. Chertok, G.V. Rudenko, B.P. Filippov, M. Temmer. A Challenging Solar Eruptive Event of 18 November 2003 Event and Causes of the 20 November Geomagnetic Superstorm. I. Unusual History of an Eruptive Filament. *Solar Phys.*, 289, No. 1, 289-318, 2014.

Grechnev V.V., A.M. Uralov, I.M. Chertok, V.A. Slemzin, B.P. Filippov, Ya.I. Egorov, V.G. Fainshtein, A.N. Afanasyev, N.P. Prestage, M. Temmer. A Challenging Solar Eruptive Event of 18 November 2003 Event and Causes of the 20 November Geomagnetic Superstorm. II. CMEs, Shock Waves, and Drifting Radio Bursts. *Solar Phys.*, 289, No. 4, 1279-1312, 2014.

Uralov A.M., V.V. Grechnev, G.V. Rudenko, I.I. Myshyakov, I.M. Chertok, B.P. Filippov, V.A. Slemzin. A Challenging Solar Eruptive Event of 18 November 2003 and the Causes of the 20 November Geomagnetic Superstorm. III. Catastrophe of the Eruptive Filament in a Magnetic Null Point and Formation of an Opposite-Handedness CME. *Solar Phys.*, 289, No. 10, 3747-3772, 2014.

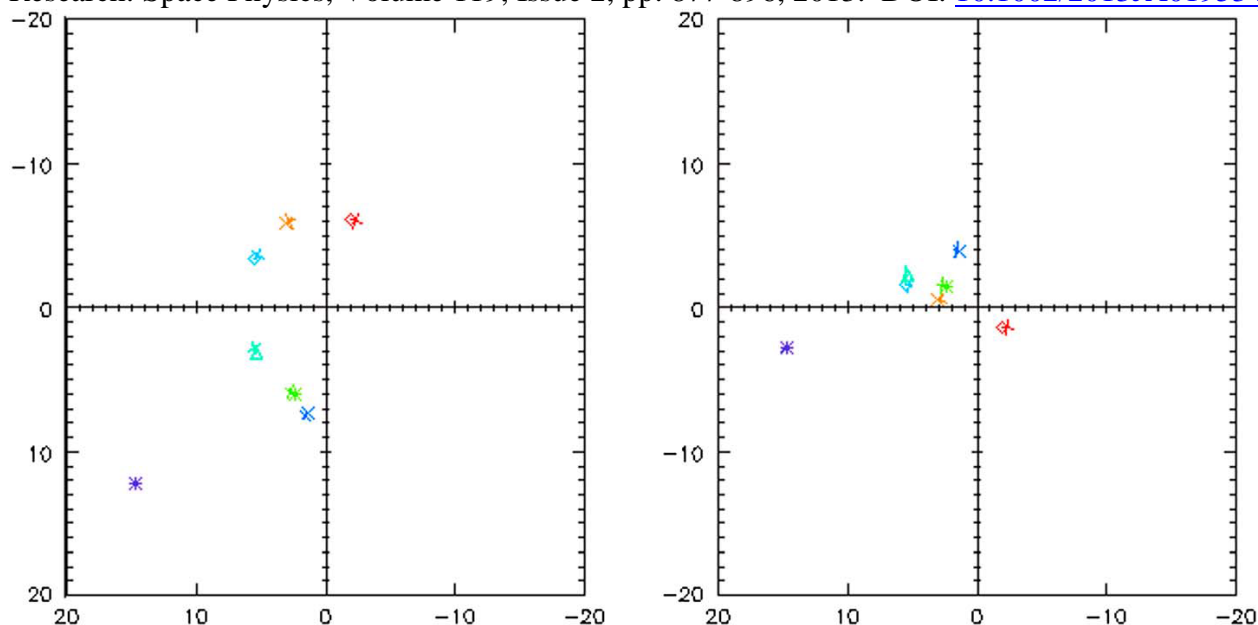
Grechnev V.V., A.M. Uralov, I.M. Chertok, A.V. Belov, B.P. Filippov, V.A. Slemzin, B.V. Jackson. A Challenging Solar Eruptive Event of 18 November 2003 and the Causes of the 20 November Geomagnetic Superstorm. IV. Unusual Magnetic Cloud and Overall Scenario. *Solar Phys.*, 289, No. 12, 4653-4673, 2014.

2. Уникальное событие в системе Солнце-Земля

Солнечный ветер впервые наблюдался внутри геостационарной орбиты. Аномальный состав источников солнечного ветра с содержанием гелия $> 20\%$ по числу частиц явился причиной наблюдавшегося 21 января 2005 г. кратковременного события длительностью около 2 часов с необычайно сильным динамическим давлением ветра до 100 нПа. Уникальное событие сопровождалось необычной геомагнитной бурей. Имело место экстремально большое поджатие дневной части магнитосферы вместе с головной ударной волной и магнитопаузой вплоть до трех земных радиусов (см рисунок, шкала в радиусах Земли). Мощный кольцевой ток развился на этих расстояниях и привел к неожиданно сильной геомагнитной буре, которая не находила до сих пор своего объяснения. «Ядро» эруптивного протуберанца «попало точно в цель». Крайне редкое, но возможное событие в будущем. (НИИЯФ МГУ, ИКИ РАН)

Публикация:

Dmitriev, A. V.; Suvorova, A. V.; Chao, J.-K.; Wang, C. B.; Rastaetter, L.; Panasyuk, M. I.; Lazutin, L. L.; Kovtyukh, A. S.; Veselovsky, I. S.; Myagkova, I. N. Anomalous dynamics of the extremely compressed magnetosphere during 21 January 2005 magnetic storm. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, Volume 119, Issue 2, pp. 877-896, 2013. DOI: [10.1002/2013JA019534](https://doi.org/10.1002/2013JA019534)



Измеренное положение магнитосферных границ во время уникального сжатия земной магнитосферы солнечным ветром с динамическим давлением до 100 нПа 1 января 2005 г. Показаны координаты север-юг и запад-восток с центром на Земле по данным спутниковых пересечений.

III. ФИЗИКА МАГНИТОСФЕРЫ

(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

1. Квазипериодические ОНЧ излучения с короткопериодической тонкой структурой

Проанализированы периоды модуляции квазипериодических (QP) ОНЧ излучений, зарегистрированных на наземной станции в авроральной зоне. Выделены два типа поведения периодов QP излучений в интервале 1-10 минут: плавное увеличение от 1 мин. до 2.5 мин., и значительные вариации в диапазоне 2-10 мин., связанные с суббуриями. Вариации этих периодов QP ОНЧ излучений объяснены на основе автоколебательного режима электронной циклотронной неустойчивости в магнитосфере. Кроме того, анализ тонкой структуры спектров QP элементов показал связь периодов модуляции в отдельных QP элементах (6-9 с) и времен распространения свистовых волн вдоль силовой линии. Это свидетельствует о канализированном распространении QP излучений и указывает на возможность генерации короткопериодической модуляции QP элементов в режиме пассивной синхронизации мод в магнитосферном циклотронном лазере. (ПГИ РАН и ИПФ РАН)

Публикации:

1. Manninen J., A. G. Demekhov, E. E. Titova, A. E. Kozlovsky, D. L. Pasmanik, Quasi-periodic VLF emissions with short-period modulation and their relationship to whistlers: a case study, *J. Geophys. Res.*, Volume 119, Issue 5, pages 3544–3557, DOI: 10.1002/2013JA019743, 2014.
2. Маннинен, Е.Е. Титова, А.Г. Демехов, А.Е. Козловский, Д.Л. Пасманик, Квазипериодические ОНЧ излучения: анализ периодов на различных временных масштабах, *Космические исследования*, 2014, том 52, № 1, стр. 63.-70.

2. Пространственно-временные характеристики высокоширотных геомагнитных пульсаций в диапазоне Pc4-Pc5, наблюдающихся при резком сжатии магнитосферы солнечным ветром.

Рассмотрены пространственно-временные характеристики высокоширотных геомагнитных пульсаций в диапазоне Pc4-Pc5, наблюдающихся при резком сжатии магнитосферы солнечным ветром в нескольких событиях. Было установлено, что происходит одновременное возбуждение различных типов геомагнитных пульсаций. Первый тип: пульсации с фиксированной частотой на разных широтах, которые могут быть вызваны поверхностной волной на магнитопаузе или прямым проникновением волн из солнечного ветра. Второй тип: альвеновские резонансные колебания, вызванные резким сжатием магнитосферы. Асимметрия распределения максимальной амплитуды пульсаций относительно полуденного меридиана в основном определяется ориентацией межпланетного магнитного поля в азимутальной плоскости. (ИКФИА РАН)

Публикация:

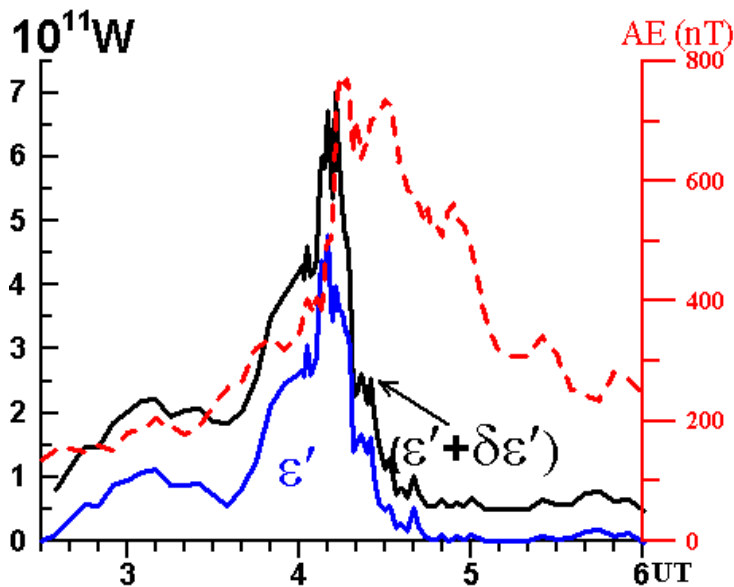
Моисеев А.В. и др. Возбуждение разных типов длиннопериодных геомагнитных пульсаций во время внезапного импульса // *Космические исследования*, 2015 - принято к печати.

3. Новый канал переноса энергии в магнитосферу.

Разработанным в ИСЗФ СО РАН методом техники инверсии магнитограмм мировой сети наземных станций рассчитана энергия, перенесенная в ионосферу из солнечного ветра в течение суббури 27.08.2001 при учете активизации старой полярной шапки (ПШ) - вовлечения в энергообмен той доли ПШ, которая до суббури является пассивной и в энергообмене не участвует. Обычно считается, что поток магнитной энергии переносится в ПШ во время суббури только через новую, расширенную часть ПШ. Показано, что новый канал весьма эффективен: он дал для указанной суббури увеличение величины перенесенной в ионосферу магнитной энергии почти вдвое. (ИСЗФ СО РАН)

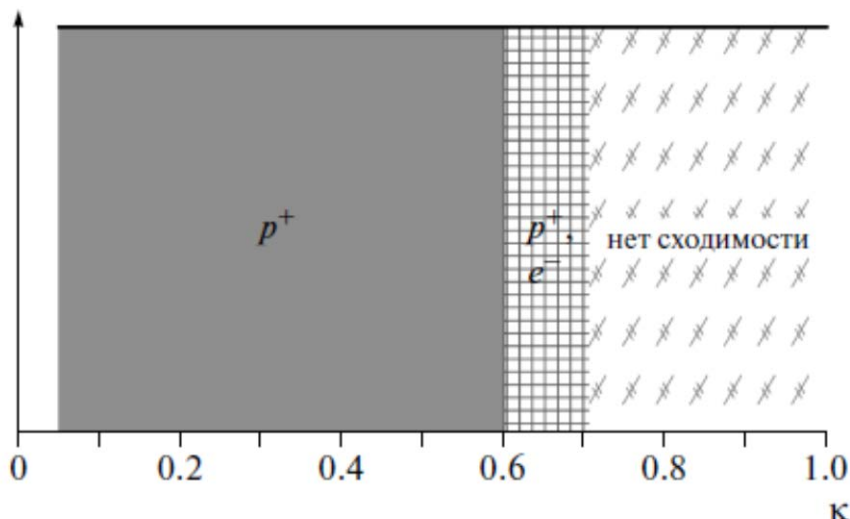
Публикация:

Mishin V.V., Mishin V.M., Pu Z., Lunyushkin S.B., Saprionova L.A., Sukhbaatar U., Baishev D.G. Old tail lobes effect on the solar-wind - magnetosphere energy transport for the 27 August 2001 substorm // *J. Adv. Space. Res.* 2014. DOI: 10.1016/j.asr.2014.09.013



4. Новый режим формирования тонких токовых слоев в магнитосфере Земли с доминированием вклада в полный ток электронной компоненты.

В широком диапазоне параметров, соответствующих естественным условиям магнитосферного хвоста Земли, исследованы токовые равновесия и вклад различных плазменных популяций в их формирование. В спокойных геомагнитных условиях, токовый слой может существовать в широком диапазоне параметров, причем основными носителями тока в токовом слое являются ионы и электроны. Однако, при некоторых параметрах в системе наблюдается хаотизация движения ионов, тогда токовое равновесие полностью поддерживается потоком электронов. При утоньшении токового слоя во время суббурь, диапазон параметров, в котором могут формироваться токовые равновесия, оказывается очень узким; вне его токовые равновесия не образуются вследствие накопления в токовом слое большого количества частиц с хаотической динамикой. (ИКИ РАН)

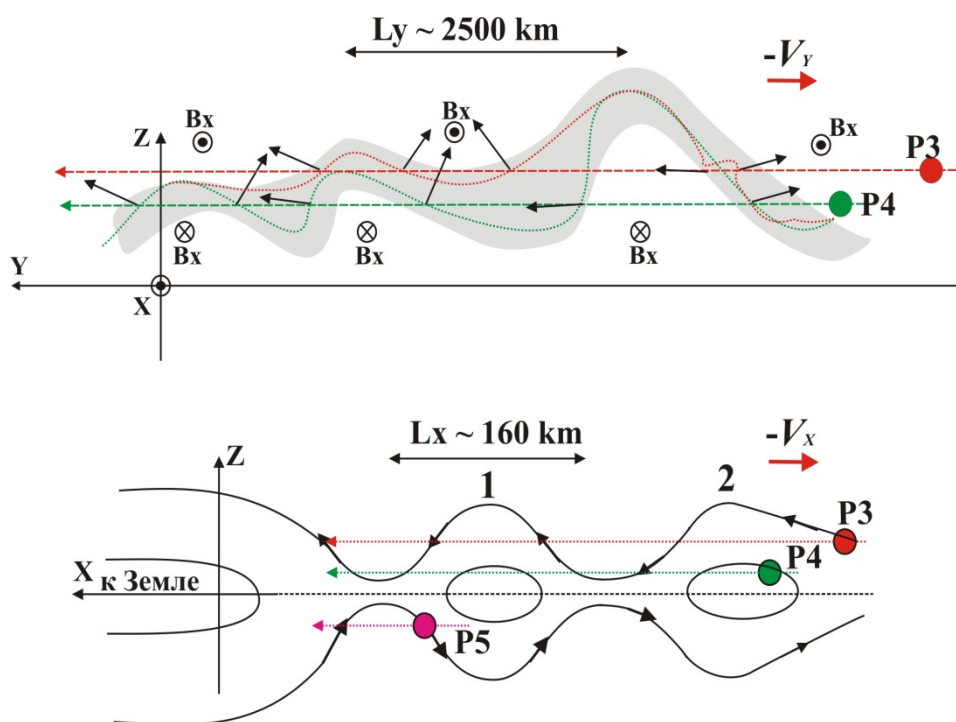


Публикация:

Улькин А.А., Малова Х.В., Попов В.Ю., Зеленый Л.М., Моделирование различных сценариев равновесия тонкого токового слоя в хвосте магнитосферы Земли, Физика плазмы, Т.41, №1, в печати, 2015.

5. Открытие явления филаментации токового слоя на электронных масштабах в ближних областях хвоста магнитосферы Земли по наблюдениям спутников THEMIS.

На основе наблюдений трех близко расположенных спутников THEMIS в Токовом Слое (ТС) ближней области геомагнитного хвоста (на расстоянии от Земли $\leq 10 R_E$) установлен факт мелкомасштабной филаментации ТС и формирования в нем магнитных островов с характерными размерами ~ 160 км, что меньше ионного гирорадиуса (ρ_i) и составляет около $23\lambda_e$ (где λ_e - электронная инерционная длина). Данная филаментация возникла в результате возбуждения в ТС изгибной и тиринг-мод. Источником свободной энергии для генерации неустойчивых мод являлся тонкий и интенсивный ТС (с толщиной $L_z \sim 320$ км $< \rho_i$ и плотностью тока $J_y \sim 20$ нА/м²), вложенный в более толстый слой, и сформировавшийся в результате усиления электрического поля конвекции, связанного с приходом высокоскоростного потока плазмы. (ИКИ РАН)



Публикация:

E.E. Grigorenko, J.-A. Sauvaud, L. Palin, C. Jacquy, and L. M. Zelenyi, THEMIS observations of the current sheet dynamics in response to the intrusion of the high-velocity plasma flow into the near-Earth magnetotail, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2013JA019729, 2014

IV. ФИЗИКА ИОНОСФЕРЫ

(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

1. Региональные особенности отклика ионосферы на события зимних внезапных стратосферных потеплений

На основе анализа данных параметров максимума F2-слоя и полного электронного содержания (ПЭС) выявлены новые свойства отклика ионосферы средних широт на события зимних внезапных стратосферных потеплений, включая региональные особенности этого отклика:

- отчетливое уменьшение амплитуды суточных изменений ПЭС относительно фоновых среднемесячных значений в Новосибирске, Иркутске и Якутске в период развития стратосферных потеплений;
- возникновение локального максимума концентрации электронов и уменьшение высоты максимума слоя F2 над зоной стратосферного циклона;
- образование области низкой концентрации электронов с увеличенной высотой максимума F2-слоя над зоной взаимодействия циклонов и антициклонов, где циркуляция направлена к полюсу.

Получено, что эти эффекты в значительной степени обусловлены перераспределением молекулярного газа из-за изменения давления газа в областях циклонов и антициклонов. (ИСЗФ СО РАН)

Публикации:

1. Polyakova A.S., M.A. Chernigovskaya, N.P. Perevalova. Ionospheric Effects of Sudden Stratospheric Warmings in Eastern Siberia Region // J. Atm. Solar-Terr. Phys. 2014. V. 120. P. 15-23. doi: 10.1016/j.jastp.2014.08.011.
2. Полякова А.С., Черниговская М.А., Перевалова Н.П. Ионосферные эффекты внезапных стратосферных потеплений в Восточносибирском регионе России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 10. № 1. С. 85-96.
3. Шпынев Б.Г., Д. Панчева, П. Мухтаров, В.И. Куркин, К.Г. Ратовский, М.А. Черниговская, А.Ю. Белинская, А.Е. Степанов, Аэрономические эффекты внезапного стратосферного потепления в январе 2009 г. и их влияние на ионосферу // Исследования Земли из космоса, 2014, №2, С. 1-11.

2. Связь двухчасовых вариаций параметров низкоширотной ионосферы и широкополосного максимума в спектре магнитного шума в диапазоне короткопериодных геомагнитных пульсаций

Обнаружены и исследованы нерегулярные двухчасовые пульсации параметров магнитного фонового шума в диапазоне 1-5 Гц в ночное время суток по данным низкоширотной обсерватории на о. Крит. С помощью теоретического моделирования и сравнения полученных результатов с данными о свойствах низкоширотной ионосферы по данным радара некогерентного рассеяния в Аресибо продемонстрирована связь этих пульсаций с вариациями параметров ионосферной «долины» между E и F областями. Данная область служит «субионосферным» резонатором для альфвеновских волн, собственная частота которого попадает в указанный диапазон, будучи в несколько раз выше собственной частоты ионосферного альфвеновского резонатора. Вариации размеров и глубины ионосферной долины проявляются в свойствах магнитного шума через их влияние на электродинамические свойства субионосферного альфвеновского резонатора. (ИПФ РАН, НИРФИ)

Публикация:

1. Bösinger, T., A.G. Demekhov, E.N. Ermakova, C. Haldoupis, and Q. Zhou (2014), Pulsating nighttime magnetic background noise in the upper ULF band at low latitudes, J. Geophys. Res. Space Physics, 119, doi:10.1002/2014JA019906.

3. Свойства плазмосферы при спокойных и возмущенных условиях

В ИСЗФ СО РАН разработана численная модель динамики околоземной тепловой плазмы, позволяющая воспроизводить крупномасштабную структуру ионосферы, плазмосферы и плазмопаузы при различных геофизических условиях, включая магнитные бури. На основе выполненных модельных расчетов показано, что размер плазмосферы зависит, главным образом, от сектора местного магнитного времени и уровня геомагнитной активности, а наибольшая зависимость от мирового времени проявляется в равноденствие. Установлено, что концентрации ионов H^+ и He^+ в плазмосфере в зимнее солнцестояние больше, чем в летнее. Полученные результаты согласуются со спутниковыми наблюдениями, что свидетельствует о возможности использования модели для исследования плазмосферы в различных геофизических условиях.

Публикация:

1. Тащилин А.В., Романова Е.Б. Моделирование свойств плазмосферы при спокойных и возмущенных условиях // Геомагнетизм и аэрономия, 2014, Т. 54, № 1, С.13-22.

4. Геомагнитная активность для медианы концентрации максимума F2-слоя

Дано первое решение задачи: какой геомагнитной активности соответствует медиана за месяц концентрации максимума F2-слоя $NmF2$? На основе анализа данных ряда ионосферных станций получено, что в среднем геомагнитная активность для медианы $NmF2$ меньше среднего за месяц значения этой активности, и эта разница увеличивается с ростом широты.

Это происходит, в частности, потому, что для высокоширотных станций при высокой геомагнитной активности данные $NmF2$ часто отсутствуют (например, из-за экранировки F2-слоя спорадическим слоем E) и медиана $NmF2$, полученная по оставшимся дням месяца, соответствует более низкой геомагнитной активности. (ИЗМИРАН)

Публикация:

1. Деминов М.Г., Деминова Г.Ф. Какой солнечной и геомагнитной активности соответствует медиана $NmF2$? // Труды XXIV Всероссийской научной конференции Распространение радиоволн (РРВ-24), Т. 1. – Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2014. С. 139-142.

5. Неоднородности плотности плазмы как источник широкополосной электростатической турбулентности в авроральной зоне

Широкополосные возмущения (broadband ELF turbulence) в магнитосферно-ионосферной системе высоких широт регистрируются при различных условиях в околоземной плазме. Наиболее подходящей для интерпретации ELF турбулентности в авроральной зоне является теория электростатических ионно-циклотронных волн, возбуждаемых локализованными электрическими полями, которые, как и продольные токи, присутствуют в авроральной ионосфере. В рамках этой теории предполагается, что возмущение вызывается неустойчивостью (inhomogeneous energy-density-driven instability (IEDDI)), к которой приводит неоднородное распределение плотности энергии, связанное со сдвигом скорости в плоскости, перпендикулярной магнитному полю.

Впервые продемонстрировано, что неоднородности плотности плазмы могут возбуждать IEDDI неустойчивость даже в отсутствие неоднородных электрических

полей. Показано, что в общем случае доминирующая ветвь электростатической турбулентности определяется взаимодействием различных факторов, приводящих к неустойчивостям. Эти факторы не всегда действуют в унисон, что может приводить к подавлению электростатических волн определённого типа.

(ИКИ РАН, ПГИ КНЦ РАН)

Публикации:

1. Чернышов А.А., Ильясов А.А., Могилевский М.М., Головчанская И.В., Козелов Б.В. Влияние неоднородностей концентрации плазмы и электрического поля на генерацию электростатического шума в авроральной зоне // Физика плазмы, (принята в печать, 2014).
2. Golovchanskaya I.V., B.V. Kozelov, A.A. Chernyshov, M.M. Mogilevsky and A.A. Pyasov, Branches of electrostatic turbulence inside solitary plasma structures in the auroral ionosphere, Phys. Plasmas. 2014. V. 21, 082903.

V. ФИЗИКА ЛИТОСФЕРНО-АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

1. Создан первый микроспутник Российской академией наук «Чибис-М»

В ИКИ РАН создан первый микроспутник Российской академией наук «Чибис-М» (общая масса 40 кг), предназначенный для проведения космических исследований по фундаментальным проблемам высотных молниевых разрядов – научные руководители академики Л.М. Зелёный и А.В. Гуревич [1]. В инфраструктуре Российского сегмента МКС отработана схема вывода микроспутников на орбиту (рис. 1), в том числе запланированных по программе на 2017-18г.г. Созданный в ИКИ РАН Центр управления полётом полностью обеспечил выполнение научной программы «Чибис-М» (25.12.2012-15.10.2014) на орбите и получение научных данных. (ИКИ РАН)



Рис. 1. Схема вывода «Чибис-М» на орбиту в инфраструктуре Российского сегмента МКС.

1. Впервые на высотах 250 – 500 км. проведены комплексные исследования ультрафиолетового (УФ) и инфракрасного (ИК) излучений, гамма квантов, радио- и КНЧ/ОНЧ излучений в грозовых образованиях [1, 4]. На данном этапе изучен ряд характерных явлений.

1.1. Данные «Чибис-М» свидетельствуют о двух состояниях электрического поля в грозовом облаке с характерными временами разряда:

а. порядка трех миллисекунд, когда ускорение электронов и рождение гамма квантов, УФ и радиоизлучения ожидается в импульсном поле, в момент разряда молнии. Данные связаны с грозовыми разрядами, зарегистрированными за интервал времени, перекрывающий длительность типичного гамма всплеска (TGF) от Земли = 3мс.

б. порядка 1 секунды и более (рис. 2), когда ускорение электронов и рождение гамма квантов, УФ и радиоизлучения происходит электрическим полем, образующимся за счет процессов при формировании заряженных кластеров в облаке предшествующих моменту разряда молнии [4].

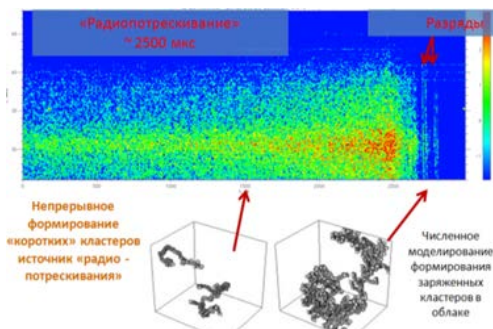


Рис. 2. Пример кластерного формирования разрядов.

1.2. Создана база данных ионосферных электромагнитных излучений диапазона 0.01-40 кГц, характеризующих глобальную грозовую активность и электромагнитные параметры космической погоды [1, 3].

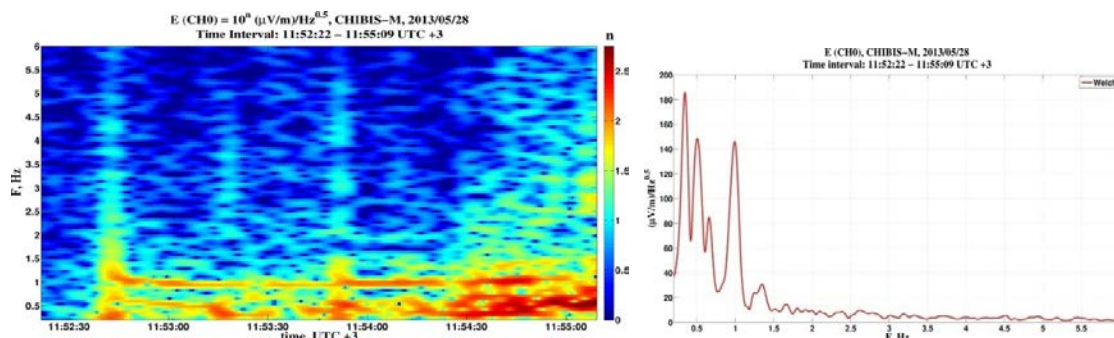


Рис. 3. Пример регистрации электромагнитных структур ионосферного альвеновского резонатора (частоты от ~0.5 Гц до ~5 Гц), возбуждаемых атмосферной грозовой активностью [2].

2. В ионосфере получены уникальные данные (рис. 4) о крайне низкочастотных электрических флуктуациях, отражающих воздействие длинных линий электропередач (50-60 Гц).



3. Анализ данных доказал наличие в верхней ионосфере низкочастотных электромагнитных структур, возбуждаемых атмосферной грозовой активностью: ионосферного альвеновского резонатора (частоты от ~ 0.5 Гц до ~ 5 Гц) и шумановского резонанса (частоты ~ 8 Гц и гармоника). Хотя наземные проявления этих структур хорошо известны, возможность их просачивания в верхнюю ионосферу оставалась весьма гипотетичной.

Публикации:

1. Зелёный Л.М., А.В. Гуревич, С.И. Климов, В.Н. Ангаров, и др. Академический микроспутник ЧибисМ. Космические исследования, 2014, том 52, № 2, с. 93–105.

2. Dudkin D., V. Pilipenko, V. Korepanov, S. Klimov, R. Holzworth. Electric field signatures of the IAR and Schumann resonance in the upper ionosphere detected by Chibis-M microsatellite. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 117 (2014) 81–87.

3. Klimov Stanislav, Csaba Ferencz, et al. First results of MWC SAS3 electromagnetic wave experiment on board of the Chibis-M satellite. *Advances in Space Research*, 54 (2014) 1717–1731.

Тезисы.

2. Электрические процессы в приземном слое атмосферы Земли

Экспериментально и теоретически исследовано электрическое состояние среднеширотного атмосферного пограничного слоя, невозмущенного облачностью, осадками, туманом, промышленными аэрозолями. Проведены натурные эксперименты по исследованию характеристик атмосферной турбулентности с помощью мобильного комплекса, включающего: гелиевый аэростат объемом 18 куб.м, профилемер SCITECH, электрические флюксометры, датчики электрической проводимости, метеодатчики, систему передачи информации на Землю. Исследованы флуктуации электрического поля и проводимости в пограничном слое на высотах до 150 м. Установлены закономерности вертикального переноса заряда в слое атмосферы; в экспериментах с использованием привязной аэростатной системы подтверждено формирование аэроэлектрических структур. Развита теория электродного эффекта с учетом аэрозольных частиц. (ИФЗ РАН, ИПФ РАН, ННГУ)

Найдены новые аналитические выражения для интегралов системы уравнений электродного эффекта. Разработана модель, позволяющая оценивать электрическое состояние устойчивого, нейтрального и конвективного атмосферных пограничных слоев. Для параметризации модели использованы данные натурных наблюдений и лабораторных экспериментов. Исследованы вертикальный перенос объемного заряда, динамика высотных аэроэлектрических профилей в эволюционирующем пограничном слое с возрастающей конвективной активностью. Моделирование показало, что в условиях развитой конвекции максимальный градиент плотности объемного заряда формируется вблизи поверхности, уменьшаясь с высотой, если вертикальное распределение аэрозольных фракций однородно. Проведена оценка скорости генерации положительного заряда в приземном слое в условиях перехода от устойчивого к конвективному режиму атмосферного пограничного слоя.

Публикации:

1. S.V. Anisimov, E.A. Mareev, N.M. Shikhova, M.V. Shatalina, S.V. Galichenko, S.S. Zilitinkevich. Aeroelectric structures and turbulence in the atmospheric boundary layer, *Nonlin. Proc. Geophys.*, 20, 819–824, 2013.

2. S.V. Anisimov, N.M. Shikhova. Intermittency of turbulent aeroelectric field, *Atmospheric Research*, 2014, V. 135-136, p. 255-262.

3. S.V. Anisimov, S.V. Galichenko, N.M. Shikhova. Space charge and aeroelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study, *Atmospheric Research*, 2014, V. 135-136, p. 244-254.

4. Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2014, Т. 50, № 4, С. 1-9.

3. Вероятностные и вероятностно-детерминированные модели ионосферы

На обширном экспериментальном материале, полученном в геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН продемонстрирована несостоятельность современных эмпирических моделей нижней ионосферы для решения задач распространения радиоволн.

Обоснована необходимость разработки вероятностно-статистических моделей ионосферы для расчета распространения радиоволн широкого диапазона частот, относящихся, по сути, к новому типу ионосферного моделирования. Разработаны основные принципы построения таких моделей, которые разделяются на чисто статистические и детерминировано-вероятностные. (ИДГ РАН)

В новом подходе ионосфера изначально рассматривается как случайное поле с пространственными и временными корреляционными характеристиками, определяемыми физическими процессами межгеосферного взаимодействия.

Разработаны два варианта вероятностной модели среднеширотной D-области ионосферы, показавшие хорошее согласие с экспериментальными данными.

Данные модели могут использоваться для калибровки и верификации физических блоков моделирования атмосферно-ионосферного взаимодействия

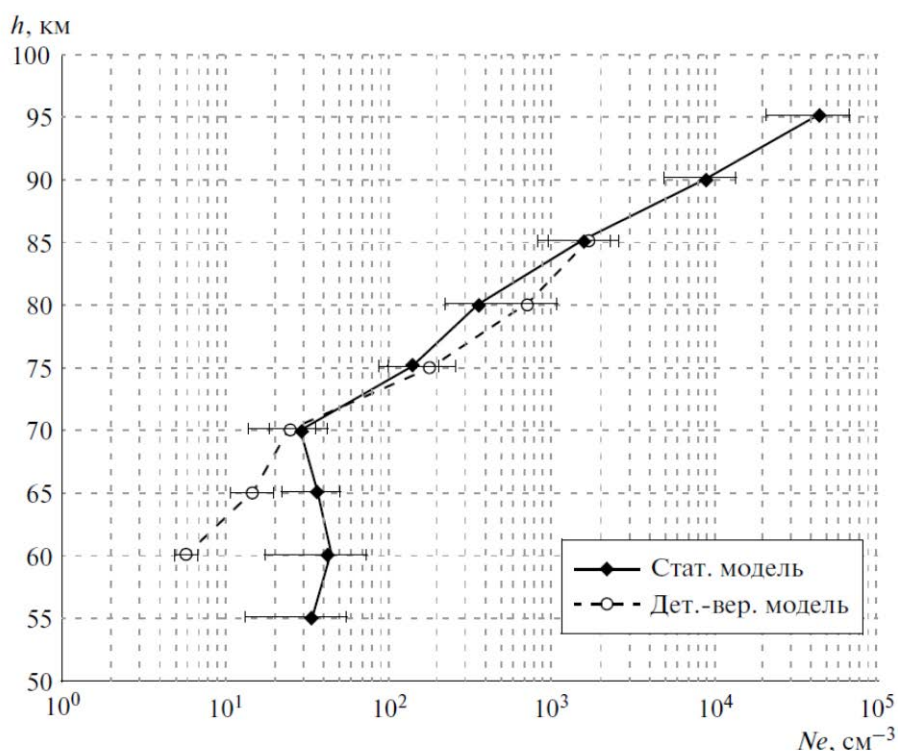


Рисунок 1. Высотные профили электронной концентрации по вероятностной модели нижней ионосферы и по экспериментальным данным.

Публикация:

С.И.Козлов, А.Н.Ляхов, С.З.Беккер, Основные принципы построения вероятностно-статистических моделей ионосферы для решения задач распространения радиоволн // Геомагнетизм и аэронавигация, 2014, том 54, № 6, с. 767–779.

4. Электрические процессы в нижней ионосфере Земли

- Исследована задача о влиянии на ионосферный потенциал различных неоднородностей и возмущений проводимости и плотности стороннего тока
- установлено, что ионосферный потенциал оказывается наиболее чувствительным к возмущениям плотности стороннего тока и возмущений проводимости внутри грозных облаков — источников глобальной цепи;
- из возмущений проводимости ионосферный потенциал наиболее чувствителен к неоднородностям в безоблачной части областей хорошей погоды
- Рассмотрена задача о повышении ионосферного потенциала в 1960-е годы вследствие испытаний ядерного оружия в атмосфере. Показано, что локальное или глобальное повышение проводимости в верхней атмосфере само по себе не может объяснить наблюдавшуюся корреляцию и дать возмущение ионосферного потенциала нужной величины.

Публикации:

1. Slyunyaev N.N., Mareev E.A., Kalinin A.V., Zhidkov A.A. Influence of Large-scale Conductivity Inhomogeneities in the Atmosphere on the Global Electric Circuit, *J. Atmos. Sci.*, 2014, V. 71, p. 4382–4396.
2. А.В. Калинин, Е.А. Мареев, Н.Н. Слюняев, А.А. Жидков. Стационарные и нестационарные модели глобальной электрической цепи: корректность, аналитические соотношения, численная реализация, *Изв. РАН – ФАО*, 2014, Т. 50, № 3, с. 355–364.
3. Williams E.R., Mareev E.A., Recent Progress on the Global Electrical Circuit, *Atmos. Res.*, 2014, V. 135-136, p. 208-227.
4. S.S. Davydenko and E.A. Mareev, Comment on “Charge transfer to the ionosphere and to the ground during thunderstorms” by S. A. Mallios and V. P. Pasko, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2014, Volume 119, Issue 3, pages 2359–2362, March, DOI: 10.1002/2013JA019230

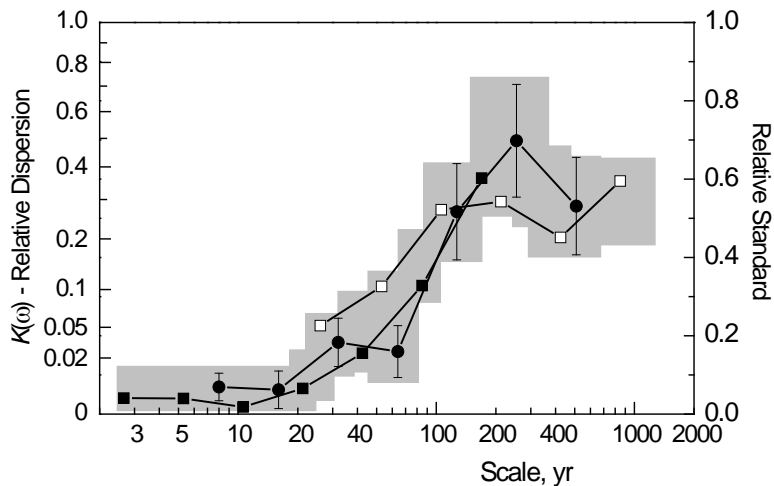
VI. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

(Секция, совместная с Советом «Исследования по теории климата Земли»)

(раздел II «Физические науки», п. 12, 14, 16 Приложения № 2 к Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013 - 2020 годы «План фундаментальных научных исследований Российской академии наук на 2013 - 2020 годы»)

1. Оценка вклада солнечной активности в изменения глобального климата Земли

Впервые сделана количественная оценка влияния солнечной активности на климат Земли. Показано, что общий вклад солнечной активности в изменения глобальной земной температуры невелик, но не пренебрежимо мал: порядка пятой части дисперсии последней связано с солнечной активностью. Этот вклад в значительной степени зависит от временного масштаба: если для циклических вариаций с периодами < 40-50 лет он меньше 5% (для 11-летних – около 1%), то для времен порядка 80-90-летнего цикла Гляйссберга он начинает резко возрастать, достигая максимума (около 40-50%) для 200-летнего цикла Зюсса. (ГАО РАН)



Сводная картина вклада солнечной активности в дисперсию температурных изменений, полученная по семи различным реконструкциям земной температуры и трем – солнечной активности.

Публикация:

Nagovitsyn Yu.A. Specific Features in the effect of solar activity on the Earth's climate changes // Geomagnetism and Aeronomy. 2014. V. 54. No. 8. P. 1010-1013.

2. Влияние солнечной и геомагнитной активности на изменение климата

На основе комплексного анализа данных наблюдений и разрабатываемой авторами модели влияния солнечной активности (СА) на климатическую систему выявлен достоверный отклик в основных климатических характеристиках: приземной температуре воздуха, температуре поверхности океана и осадках на воздействие солнечной активности. Установлено, что климатический отклик на воздействие солнечной и геомагнитной активности характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью, носит региональный характер и зависит от климатической эпохи (рис. 1). (ИСЗФ СО РАН)

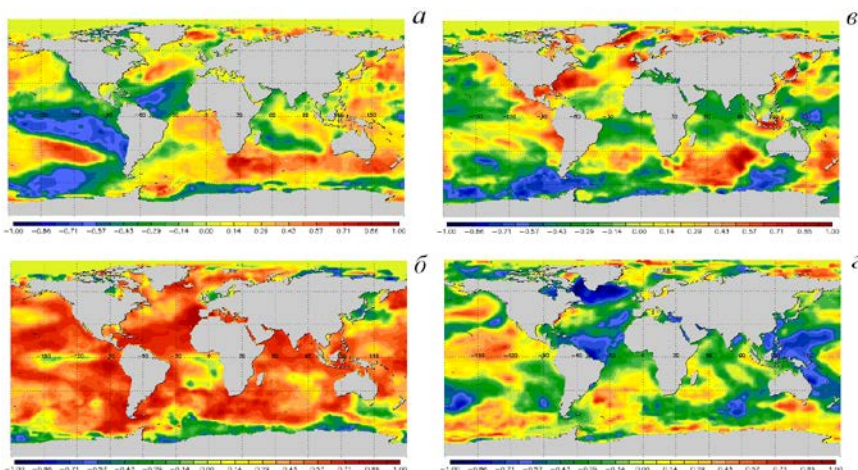


Рис.1 Карты корреляций между сглаженными значениями ТПО и aa-индексом геомагнитной активности для климатических эпох: а.1868-1910; б.1910-1948; в. 1948-1976; г. 1976-2000.

Характерной особенностью пространственного распределения отклика является наличие областей как положительной, так и отрицательной корреляции. Исключением является эпоха (1910-1948 гг.), в которую отклик на геомагнитную активность в ТПО был положительным практически во всех регионах, т.е. носил глобальный характер (рис. 1б). В эту эпоху увеличение

геомагнитной активности характеризуется значительным положительным трендом, максимальным за весь рассмотренный временной интервал (1868-2014 гг.).

Солнечная активность внесла значительный вклад в изменении глобального климата в период первого потепления в XX веке (1910-1943 гг.) и в период 2000-2014 гг. Первый период характеризуется непрерывным ростом уровня геомагнитной активности, а второй – быстрым спадом.

Кроме того выявлены регионы, в которых долговременные изменения температуры за весь рассмотренный период (1854 – 2013 гг.) определяются в основном вариациями СА (пример - рис. 2).

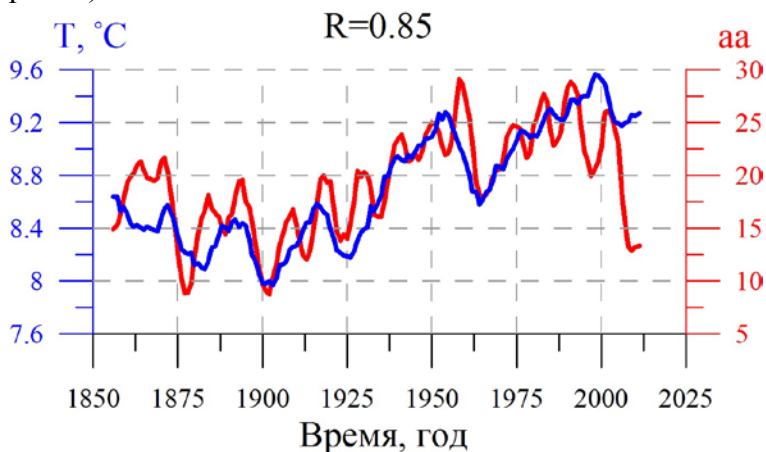


Рис. 2. Сглаженные по пяти годам значения ТПО в области максимального проявления СА (40°ю.ш.-50°ю.ш.; 30°в.д. -60°в.д.), aa-индекс геомагнитной активности (красная линия), коэффициент корреляции (R)

Публикации:

1. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Кириченко К.Е. Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана // Известия Иркутского государственного университета, сер. Науки о Земле, 2013, т.6, №1, с. 61-79.
2. Коваленко В.А., Жеребцов Г.А. Влияние солнечной активности на изменение климата. // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 02. С. 134–138.
3. Кириченко К.Е., Коваленко В.А., Молодых С.И. Проявление солнечной активности в температуре поверхности мирового океана // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 02. С. 154–157

3. Влияние солнечной и геомагнитной активности на изменение климата

Представлены результаты совместного анализа вариаций температуры T_m в области мезопаузы по измерениям на Звенигородской научной станции (56° с.ш., 37° в.д.) Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ЗНС ИФА РАН) в 1960–2012 гг. и многолетних вариаций приповерхностной температуры, характеризующих глобальные климатические изменения. Изменения климата при анализе характеризовались, в частности, аномалиями глобальной приповерхностной температуры. Отмечен резкий переход с быстрым понижением температуры в области мезопаузы во второй половине 1970х годов, ранее обнаруженный по данным о температуре в нижних слоях. Результаты выделяются более четко при удалении вариаций, вызванных солнечным циклом. (ИФА РАН)

Измерения вариаций температуры в области мезопаузы на ЗНС ИФА РАН входят в международную систему измерений NDMC. Ключевой аргумент создания международного проекта NDMC – возможность раннего распознавания глобальных изменений температурного режима атмосферы и ее состава по измерениям в верхней атмосфере, так как реакция разреженных слоев верхней атмосферы более чувствительна как к воздействию солнечного

излучения, так и к другим воздействиям, включая антропогенные, по сравнению с реакцией нижних слоев атмосферы. Кроме этого, нижние слои атмосферы существенно подвержены влиянию неоднородных воздействий от поверхности Земли.

При общем значительном понижении температуры в области мезопаузы в течение последних более пяти десятилетий с тенденцией уменьшения скорости понижения T_m отмечен резкий переход температуры на верхней границе мезосферы во второй половине 1970-х гг. Это отмечено на фоне общей тенденции увеличения глобальной приповерхностной температуры с проявлением уменьшения скорости потепления в последние годы. Резкий переход с быстрым понижением температуры в области мезопаузы значимо проявляется после выделения вклада вариаций солнечного излучения. При этом после выделения вклада вариаций солнечного излучения отмечено бимодальное распределение для количества зим со значениями температуры в области мезопаузы в разных диапазонах по данным для всего периода измерений на ЗНС ИФА РАН с 1960 г. (см. рис.1). Ранее резкий температурный скачок во второй половине 1970-х гг. был отмечен по наземным измерениям (так называемый “climate shift” 1970-х гг.).

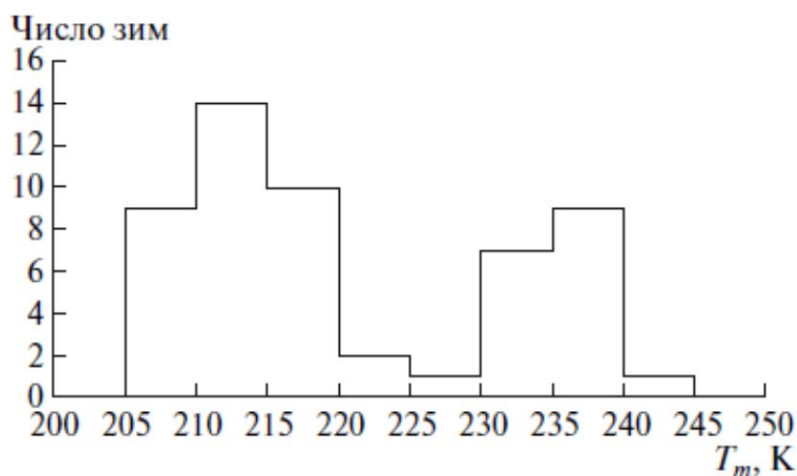


Рис. 1. Бимодальное распределение для количества зим со значениями температуры в области мезопаузы T_m в разных диапазонах по данным для всего периода измерений на ЗНС ИФА РАН (1960–2012 гг.) после выделения вклада вариаций солнечного излучения.

Публикация:

Мохов И.И., Семенов А.И. Нелинейные температурные изменения в области мезопаузы на фоне глобальных изменений климата в 1960-2012 гг. // Доклады РАН. 2014. Т. 456. № 5. С. 596–599

4. Надежность реконструкций солнечной активности в прошлом и изменения климата.

Показано, что во время Малого ледникового периода изменение глобальной температуры Земли приводит к вариациям содержания радиоуглерода в атмосфере, сравнимым с изменениями, вызванными космическими лучами. Найдено, что уменьшение концентрации CO_2 в атмосфере Земли во второй половине 17-го века может являться результатом поглощения углекислого газа из атмосферы поверхностным слоем океана при уменьшении температуры. Таким образом, для надежной реконструкции солнечной активности в прошлом необходимо учитывать изменение скорости обмена между природными резервуарами во время глобальных изменений климата (ФТИ РАН, ГАО РАН)

Аннотация

Для реконструкции солнечной активности (СА) в прошлом используются данные по содержанию космогенного изотопа ^{14}C в кольцах деревьев. Изотоп образуется в атмосфере Земли под действием космических лучей (КЛ) и, следовательно, отражает интенсивность КЛ проникающих в атмосферу Земли. Изотоп ^{14}C участвует в обмене между природными резервуарами и на его содержание в этих резервуарах (и в кольцах деревьев) могут оказывать влияние климатические изменения. В работе [1] на основе рассмотрения 5-ти резервуарной модели (атмосфера, биосфера, гумус, верхний и нижний слой океана) и с привлечением данных по содержанию космогенного изотопа ^{10}Be во льдах Гренландии проведено моделирование влияния данных эффектов на содержание ^{14}C в атмосфере Земли (и следовательно в кольцах деревьев) на временном интервале с конца 14-го по начало 19-го века. Показано, что во время малого ледникового периода изменение глобальной температуры приводит к вариациям содержания ^{14}C в атмосфере, сравнимых с изменениями, вызванными вариациями интенсивности космических лучей. Показано, что уменьшение концентрации CO_2 в атмосфере Земли во второй половине 16-го века может являться результатом поглощения поверхностным слоем океана (ПСО) углекислого газа из атмосферы при уменьшении температуры ПСО. Результаты моделирования показывают, что для реконструкции СА в прошлом необходимо учитывать изменение скорости обмена между природными резервуарами во время глобальных изменений климата, в частности во время Малого ледникового период.

Публикация:

Koudriavtsev I., Dergachev V., Nagovitsyn Y., Ogurtsov M., Jungner H. On the influence of climate factors on the ratio between the cosmogenic isotope ^{14}C and total carbon in the atmosphere in the past // *Geochronometria*. 2014. V. 41. No 3. P. 216–222.