

Результаты – 2014

Секция «Солнце»

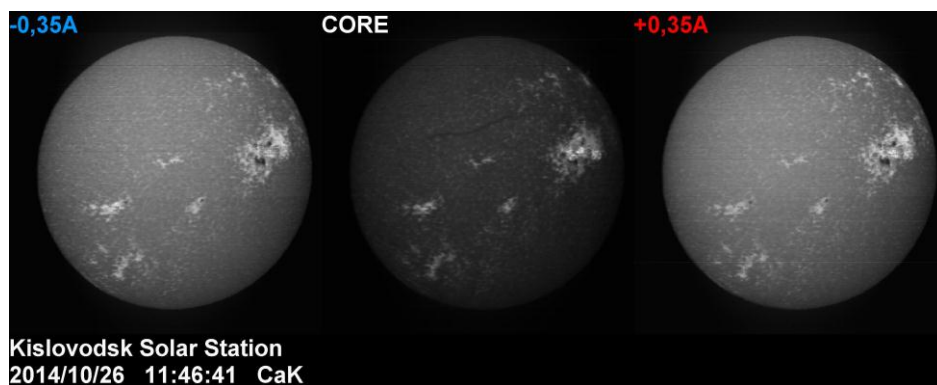
Важнейшие результаты научных исследований, полученные в Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Российской Академии наук в 2014 г.

Патрульный телескоп-спекрогелиограф нового поколения и возрождение наземной отечественной службы Солнца

На Горной станции ГАО РАН создан и уже эксплуатируется в течение 3 лет автоматический патрульный телескоп-спекрогелиограф 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 (Тлатов А.Г., Середжинов Р.Т., Свидский П.М., Дормидонтов Д.В., Якунин Л.Н., Розивика И.Г., Степанов А.В., Наговицын Ю.А.)

ГАО РАН совместно с ИПГ Росгидромета.

- 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.



Жгутовый механизм развития солнечной вспышки.

Промоделировано развитие уникальной вспышки от 22/09/2011, в которой в течение многих часов наблюдалось втягивание вдоль пологой винтовой траектории холодного хромосферного вещества в горячую область энерговыведения (низколежащий магнитный жгут). Согласно предлагаемой модели, вспышка вызвана возбуждением плазменной турбулентности в той части всплывшего из-под фотосферы магнитного жгута, где по условиям равновесия плотность плазмы упала до критического уровня, при котором дрейфовая скорость электронов приблизилась к тепловой. Эффект сифонного всасывания плазмы вдоль магнитных силовых линий в область энерговыведения с пониженной плотностью плазмы промоделирован численно. (А.А.Соловьев)

Astrophys Space Sci

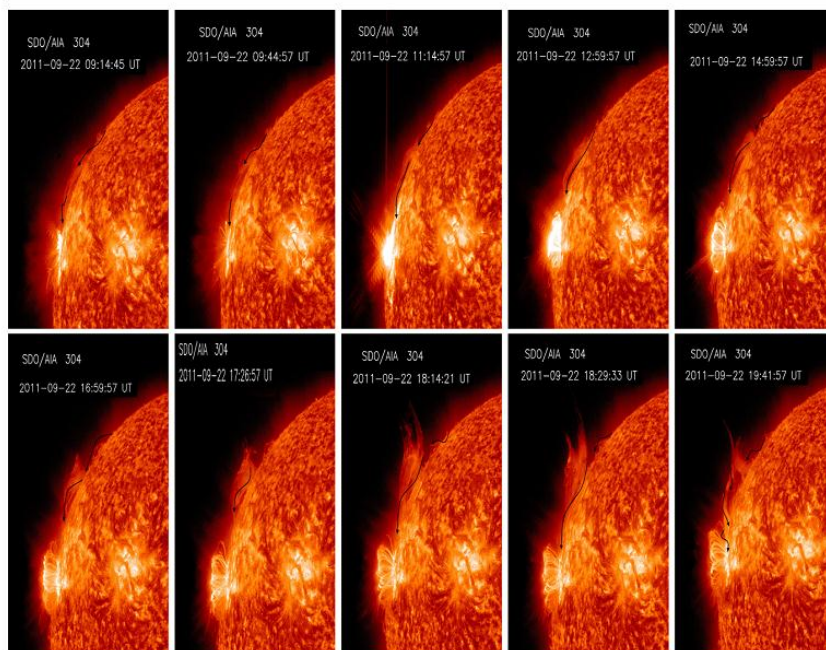
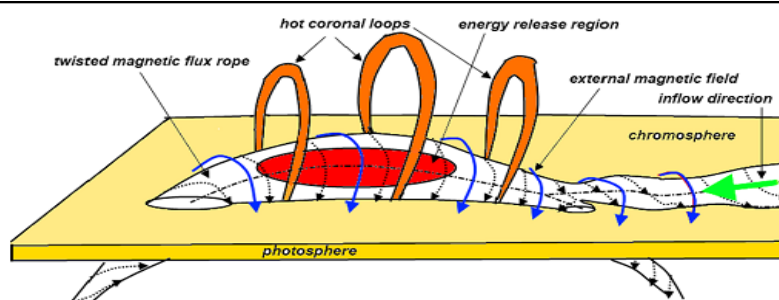


Fig. 1 Time-series of images of the flare event, taken from <http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/aiahmi/>. Thin black arrows indicate the directions of inflows of plasma into the hot flare region

Fig. 2 Sketch of the structure of the flare event observed on 22/09/2011



ИСПОЛНИТЕЛЬ от ГАО: Соловьев А.А.

Публикации 2014 года по данной теме:

Solov'ev A.A., K. Murawski. Does the energy-release region of the flare work as a vacuum cleaner? *Astrophysics and Space Science*. Vol. 350. No.1, 11-19. (2014).

Модель корональной каверны.

Впервые развита динамическая модель корональной каверны – области в короне с пониженной яркостью и вращением газа – которая представлена в виде горизонтального магнитного жгута с вращающейся азимутальной оболочкой. Численное моделирование показало, что неустойчивость Кельвина-Гельмгольца приводит к распаду жгута на отдельные круговые волокна за время 5-10 периодов вращения. Такая сложная волокнистая структура хорошо соответствует строению наблюдаемых в солнечной короне каверн (А.А.Соловьев).

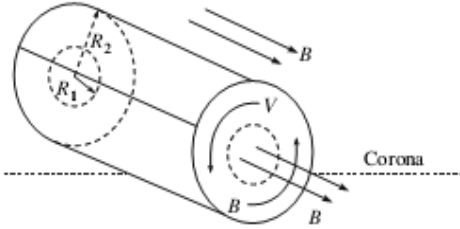


Fig. 1. Schematic illustrating the equilibrium model.

Публикации 2014 года по данной теме:

Р.А. Бисенгалиев, В.В.Мусцевой, А.А.Соловьев. Центробежные эффекты и неустойчивость Кельвина—Гельмгольца в корональных кавернах // **Астрономический журнал**. Том. 91. №4. Стр. 308-319 (2014) (Astronomy Reports. 2014. Vol. 58, no.4, pp.249-259).

ИСПОЛНИТЕЛЬ от ГАО: Соловьев А.А.,

3. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Исходной является система уравнений идеальной МГД:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \nabla) \mathbf{V} &= \\ &= -\frac{1}{\rho} \nabla P - \frac{1}{8\pi\rho} \nabla B^2 + \frac{1}{4\pi\rho} (\mathbf{B} \nabla) \mathbf{B}, \\ \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} &= (\mathbf{B} \nabla) \mathbf{V} - (\mathbf{V} \nabla) \mathbf{B} - \mathbf{B} \operatorname{div} \mathbf{V}, \quad \operatorname{div} \mathbf{B} = 0, \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + (\mathbf{V} \nabla) \rho + \rho \operatorname{div} \mathbf{V} &= 0, \\ \frac{\partial P}{\partial t} + (\mathbf{V} \nabla) P &= c_i^2 \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\mathbf{V} \nabla) \rho \right], \end{aligned} \quad (10)$$

дополненная уравнением состояния идеального газа $\gamma P_i = c_i^2 \rho_i$, где $\gamma = 5/3$ — показатель адиабаты, а индекс “i” принимает значение “in” внутри слоя ($R_1 < r < R_2$), “ex” — вне слоя ($r < R_1, r > R_2$).

Следуя стандартной процедуре линеаризации, все величины представляем в виде суммы равновесного значения и малого возмущения:

$$\begin{aligned} \rho(r, \varphi, z, t) &= \rho_i(r) + \tilde{\rho}(r, \varphi, z, t), \\ P(r, \varphi, z, t) &= P_i(r) + \tilde{p}(r, \varphi, z, t), \\ \mathbf{V}(r, \varphi, z, t) &= V_{in}(r) \mathbf{e}_\varphi + \tilde{\mathbf{v}}(r, \varphi, z, t), \\ \mathbf{B}(r, \varphi, z, t) &= B_{in}(r) \mathbf{e}_\varphi + \tilde{\mathbf{b}}(r, \varphi, z, t) \end{aligned} \quad (11)$$

при $R_1 < r < R_2$,

$$\begin{aligned} \mathbf{V}(r, \varphi, z, t) &= \tilde{\mathbf{v}}(r, \varphi, z, t), \\ \mathbf{B}(r, \varphi, z, t) &= B_{ex} \mathbf{e}_z + \tilde{\mathbf{b}}(r, \varphi, z, t) \end{aligned}$$

при $r < R_1, r > R_2$.

Далее линеаризованные системы уравнений будем выписывать для цилиндрического слоя и внешней среды раздельно в силу разной геометрии магнитных полей и скорости.

Линеаризованная система уравнений МГД для цилиндрического слоя ($R_1 < r < R_2$) имеет вид

$$\frac{\partial \tilde{\mathbf{v}}}{\partial t} + (\mathbf{V}_{in} \nabla) \tilde{\mathbf{v}} + (\tilde{\mathbf{v}} \nabla) \mathbf{V}_{in} = \quad (12)$$

$$\begin{aligned} &= -\frac{1}{\rho_{in}} \nabla \tilde{p} - \frac{1}{4\pi\rho_{in}} \nabla (\mathbf{B}_{in} \tilde{\mathbf{b}}) + \frac{1}{4\pi\rho_{in}} (\mathbf{B}_{in} \nabla) \tilde{\mathbf{b}} + \\ &+ \frac{1}{4\pi\rho_{in}} (\tilde{\mathbf{b}} \nabla) \mathbf{B}_{in} + \frac{\tilde{\rho}}{4\pi\rho_{in}^2} \frac{B_{in}^2}{r} \mathbf{e}_r, \\ \frac{\partial \tilde{\mathbf{b}}}{\partial t} &= (\mathbf{B}_{in} \nabla) \tilde{\mathbf{v}} + (\tilde{\mathbf{b}} \nabla) \mathbf{V}_{in} - (\mathbf{V}_{in} \nabla) \tilde{\mathbf{b}} - \\ &- (\tilde{\mathbf{v}} \nabla) \mathbf{B}_{in} - \mathbf{B}_{in} \operatorname{div} \tilde{\mathbf{v}}, \quad \operatorname{div} \tilde{\mathbf{b}} = 0, \\ \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial t} + (\mathbf{V}_{in} \nabla) \tilde{\rho} + (\tilde{\mathbf{v}} \nabla) \rho_{in} + \rho_{in} \operatorname{div} \tilde{\mathbf{v}} &= 0, \\ \frac{\partial \tilde{p}}{\partial t} + (\mathbf{V}_{in} \nabla) \tilde{p} + (\tilde{\mathbf{v}} \nabla) P_{in} &= \\ &= c_{in}^2 \left[\frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial t} + (\mathbf{V}_{in} \nabla) \tilde{\rho} + (\tilde{\mathbf{v}} \nabla) \rho_{in} \right]. \end{aligned}$$

В силу однородности коэффициентов линеаризованных уравнений по φ, z и t , решение ищем в виде гармоник $\tilde{f}(r, \varphi, z, t) = \tilde{f}(r) \exp(im\varphi + ik_z z - i\omega t)$, где $m = 0, 1, 2, \dots$ — азимутальный номер волновой моды.

Тогда линеаризованная система сводится к системе двух обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$\frac{d\xi}{dr_b} = C_1(r_b)p + C_2(r_b)\xi, \quad (13)$$

$$\frac{dp}{dr_b} = C_3(r_b)p + C_4(r_b)\xi. \quad (14)$$

Здесь $\xi = \tilde{\xi}/\Delta R$, $p = \tilde{p}/(\rho_{ex} c_{ex}^2)$, $r_b = r/\Delta R$, где $\Delta R = R_2 - R_1$, $\tilde{p}$ — комплексная амплитуда возмущенного газодинамического давления, $\tilde{\xi}$ — комплексная амплитуда возмущенного радиального лагранжева смещения среды, связанного с амплитудой радиальной компоненты скорости соотношением

$$\tilde{v}_r = \frac{d\tilde{\xi}}{dt} = -i\tilde{\omega}\tilde{\xi}, \quad (15)$$

где $\tilde{\omega} = \omega - m\Omega$ — частота с учетом доплеровского сдвига,

$$\begin{aligned} C_1(r) &= \frac{(G^2 - m^2 - d^2 r_b^2)(m^2 - M^2 G^2 + 4M^2) + d^2 r_b^2(G^2 - 4mW - 4)}{M^2(G^2 - m^2)(G^2 - 4mW - 4)} sF, \\ C_2(r) &= -\frac{(G^2 - m^2 - d^2 r_b^2)[(2/\gamma + 1)(G^2 - 4) + 2mWG^2 + 2m^2]}{r_b(G^2 - m^2)(G^2 - 4mW - 4)} + \frac{d^2 r_b^2(G^2 - 4) + 4mW(m^2 - G^2)}{r_b(G^2 - m^2)(G^2 - 4mW - 4)}, \\ C_3(r) &= \frac{b_1(m^2 + d^2 r_b^2 - G^2)}{(b_1 - M^2 a_1)(m^2 - G^2) r_b} \left[\frac{2d^2 r_b^2}{m^2 + d^2 r_b^2 - G^2} \left(\frac{WG^2(m + 4W)}{G^2 - 4} + 2 \right) + 2mW + M^2 - \right. \\ &\quad \left. - \frac{2d^4 r_b^4}{(m^2 + d^2 r_b^2 - G^2)^2} + \frac{2(m + 4W)m}{G^2 - 4} - \frac{m^2 - G^2}{m^2 + d^2 r_b^2 - G^2} \left(\frac{2d^2 r_b^2 M^2 a_1}{(m^2 + d^2 r_b^2 - G^2) b_1} - \right. \right. \end{aligned}$$

Модель мелкого солнечного пятна

Построена основанная на данных локальной гелиосейсмологии (Косовичев) модель мелкого солнечного пятна с глубиной нижней границы на уровне 4Мм. Модель впервые позволила:

1. теоретически вывести зависимость магнитного поля пятна от его размера (радиуса тени), соответствующую наблюдаемой; 2. найти физический механизм, обеспечивающий устойчивость пятна; 3. установить границы этой устойчивости по отношению к вертикальным колебаниям пятна как целого и 4. рассчитать период таких колебаний. Наиболее устойчивы пятна с напряженностью поля 2600-2700 Гс и радиусом тени 5 Мм (площадь пятна с полутенью - около 1000 м.д.п.) Период их собственных колебаний составляет 10-12 часов. Показано, что модель глубокого пятна, доходящего до дна конвективной зоны, противоречит основным понятиям солнечной физики и не может рассматриваться в качестве альтернативы модели мелкого пятна. (Соловьев А.А., Киричек Е.А.)

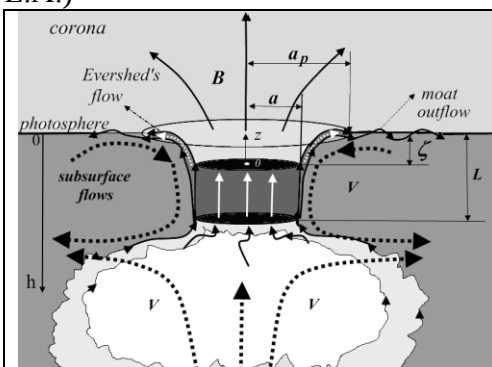


Рис.1. Магнитная структура униполярного круглого пятна. ζ - глубина вильсоновской депрессии. L - глубина нижней границы пятна; a - радиус тени; a_p - радиус пятна с полутенью. На глубинах между ζ и L - паркеровская модель магнитного цилиндра. Белая точка в тени - положение максимального отсчета поля в пятне B_0 . В полутени пятна - радиальные течения Эвершеда, а на внешней стороне пятна движущиеся магнитные элементы образуют «ров» («moat»). Толстые точечные линии - подфотосферные течения в пятне и его окрестности.

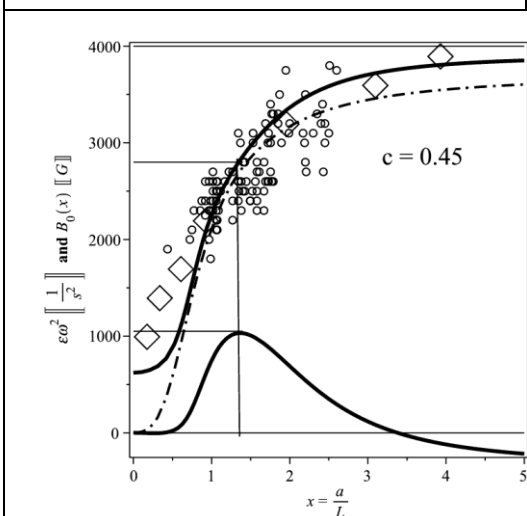


Рис.2. Верхняя сплошная линия - теоретическая зависимость магнитного поля пятна от его размера $B_0(x)$, где $(x=a/L)$, при типичном значении параметра $c = 0.45$, который задает отличие структуры магнитного поля пятна от поля соленоида ($c = 0.20$). Штрих-пунктирная кривая, кружки и ромбики - данные наблюдений различных авторов. Нижняя одногорбая кривая - функция $\epsilon\omega^2(x)$, где ω - частота колебаний пятна. Область устойчивости ограничена условием $\omega^2(x) > 0$. Масштабный фактор ϵ выбран так, чтобы показать обе функции $B_0(x)$ и $\epsilon\omega^2(x)$ на одном графике. Наибольшей устойчивостью и наименьшим периодом собственных колебаний обладают пятна с $a \approx 5\text{Мм}$, $B_0 \approx 2600\text{Г}$. Для них $\epsilon\omega^2 = 10^3\text{с}^{-2}$ и период $T \approx 12^h$. Малые пятна ($a < 0.5L = 2\text{Мм}$) находятся на грани устойчивости: $\omega = 0$.

В работе применен энергетический принцип: строится функционал полной энергии системы, дифференцируя который при соответствующих условиях по обобщенным координатам (радиус сечения тени a и длина магнитного цилиндра L), получаем условия равновесия системы по горизонтали и вертикали. Вторые производные по этим же переменным дают силы, возникающие при малых отклонениях системы от равновесия, что позволяет решить вопрос об ее устойчивости.

ИСПОЛНИТЕЛИ: Соловьев А.А., Киричек Е.А.

1. Solov'ev A.A., Kirichek E.A. Basic properties of sunspots: equilibrium, stability and eigen oscillations. **Astrophysics and Space Science**. Vol. 352. No.1, pp. 23-42; (2014).

2. Соловьев А.А. Киричек Е.А. Основные свойства солнечных пятен: равновесие, устойчивость и собственные колебания. В сб. «Современные достижения плазменной гелиофизики». Под ред. Л.М. Зеленого и И.С. Веселовского. Электронное рецензируемое издание. Сайт <http://sdpg.cosmos.ru/> имя пользователя -reader, пароль - 59ab3883d5 (2014).

3. Solov'ev A.A., Kirichek E.A. Sunspot: shallow or deep? // **Geomagnetism and Aeronomy**, v. 54, №7. 915-919. (2014).

Начало наблюдений крупномасштабных магнитных полей Солнца на телескопе-магнитографе.

С 01 июля 2014 г. начаты регулярные наблюдения крупномасштабных магнитных полей Солнца на солнечном телескопе оперативных прогнозов (СТОП-3), установленном на Кисловодской Горной астрономической Станции ГАО РАН.

(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.). ГАС ГАО, ИСЗФ СО РАН

Аннотация: Три телескопа СТОП разработаны и изготовлены Институтом солнечно-земной физики СО РАН и Институтом автоматики и электрометрии СО РАН и установлены в трех обсерваториях России в рамках ФЦП «Геофизика»

Телескопы предназначены для получения ежедневных данных о крупномасштабных магнитных полях на диске Солнца. Информативность и точность измерений напряженности магнитного поля является лучшим для подобных систем в мире.

Первые регулярные наблюдения на ГАС ГАО позволили пронаблюдать переполюсовку магнитного поля Солнца, завершившуюся в сентябре 2014 года.

На рисунке 1 почти одновременные магнитограммы на СТОП-1 (Байкальская астрофизическая обсерватория) и СТОП-3 (Горная астрономическая станция) подтверждают высокое качество и надежность данных телескопа СТОП.

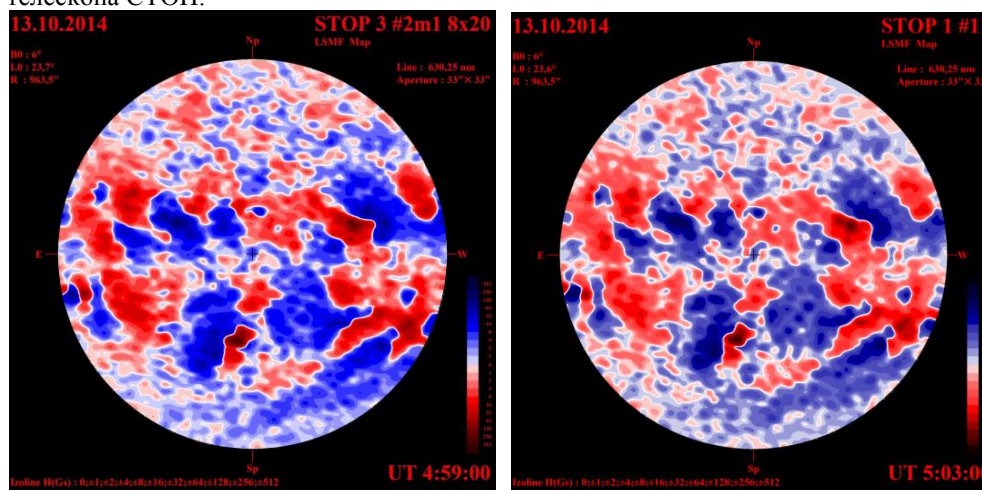


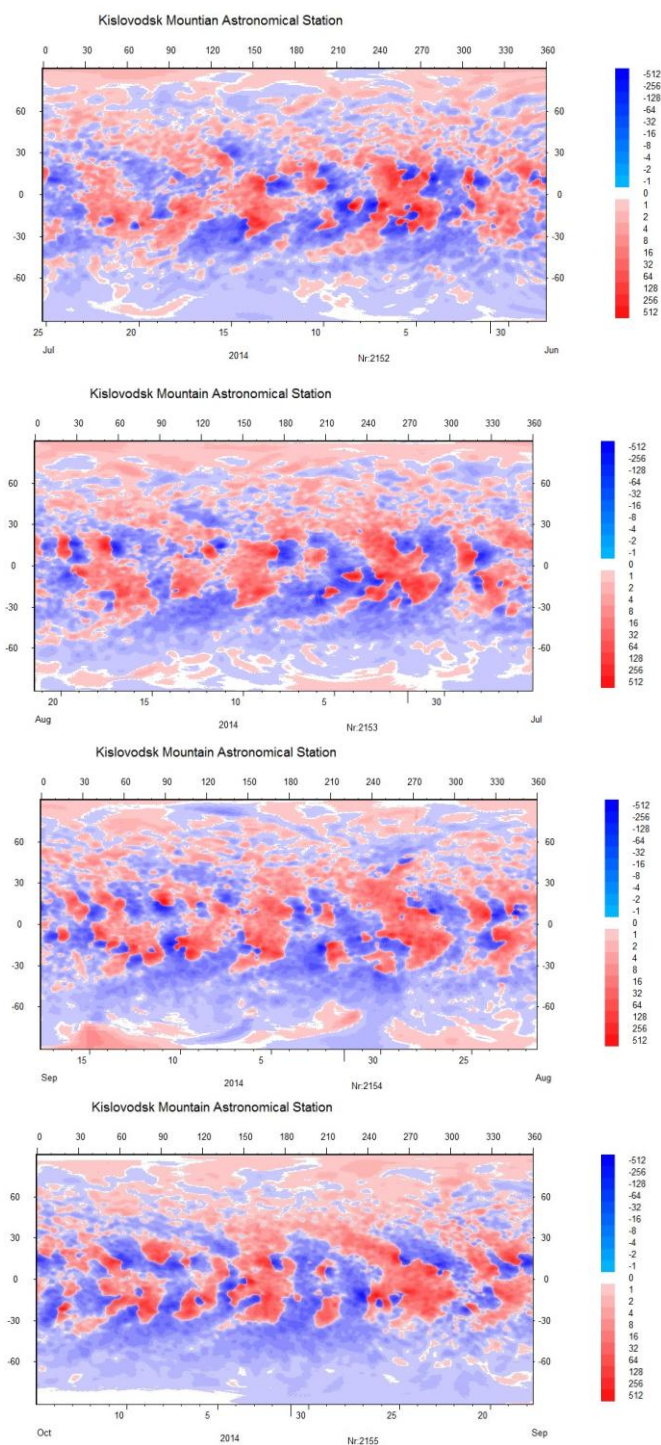
Рис.1. Пример карт измеренных магнитных полей Солнца за 13 октября 2014г., полученных почти одновременно в ГАС ГАО (СТОП-3) и Байкальской астрофизической обсерватории (СТОП-1).

Телескоп-магнитограф 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. В настоящее время Россия стала третьей страной (после США и КНР), которая может 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 (трубопроводы, электрические сети и пр.) и других технологий.

Рис.2. Синоптические карты магнитного поля, построенные для Кэррингтоновских оборотов №2152 ÷2155 по данным наблюдений телескопа СТОП на ГАС ГАО РАН в период июля-октября 2014 г.

Данные наблюдений доступны на сайте:

http://solarstation.ru/sun-service/magnetic_field.

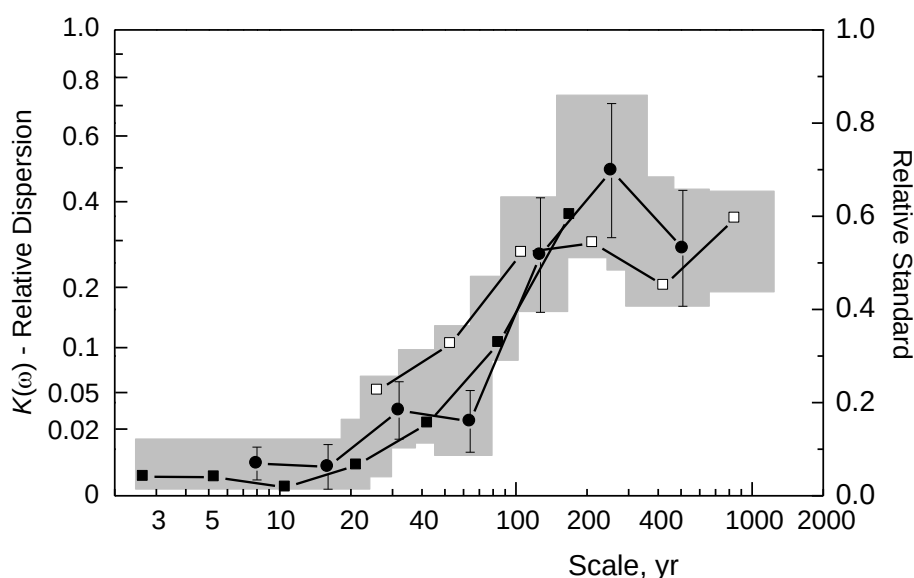


Публикации:

1. Тлатов А. Г., Дормидонтов Д.В., Шрамко А.Д., Кирпичев Р.В., Пащенко 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.Перебийнос «Солнечный телескоп оперативных прогнозов нового поколения», Автометрия, 2013, №6, С.62-69.

Вклад солнечной активности в изменения климата Земли.

Впервые произведена 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 Гляйсберга он начинает резко возрастать, достигая максимума (около 40-50%) для 200-летнего цикла Зюсса. Результаты получены с использованием семи реконструкций временных вариаций земной температуры разных авторов и трех оригинальных реконструкций поведения солнечной активности на различных временных шкалах, опубликованных ранее. (Ю.А.Наговицын, ГАО РАН)



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

Опубликовано: Yu. A. Nagovitsyn «Specific Features in the Effect of Solar Activity on the Earth's Climate Changes», Geomagnetism and Aeronomy, Vol. 54, No. 8, 1010-1013, 2014.

Аномалии развития 24-го цикла солнечной активности.

По данным *Solar Dynamics Observatory* развитие текущего цикла активности характеризуется запаздыванием смены знаков полярного магнитного поля, отмечается «всплесковая» динамика новых магнитных потоков, формирование зон перемежающейся полярности (Е.Е.Беневоленская)

Аннотация: Получены синоптические карты по данным космической обсерватории “Solar Dynamics Observatory” в крайнем ультрафиолете, которые отражают структуру солнечной активности в фотосфере, хромосфере и короне. На основании этих данных показано, что текущий цикл солнечной активности, состоящий из импульсов или всплесков магнитной энергии, выходящей на поверхность Солнца, демонстрирует запаздывание в смене знака полярного магнитного поля, несмотря на то, что полярные магнитные поля, в минимуме, перед началом цикла были слабыми. Это обусловлено внутренней динамикой солнечной активности и формированием зон перемежающейся полярности в осесимметричном распределении солнечного цикла (рис. 1с, А,В,С - зоны доминирующей полярности).

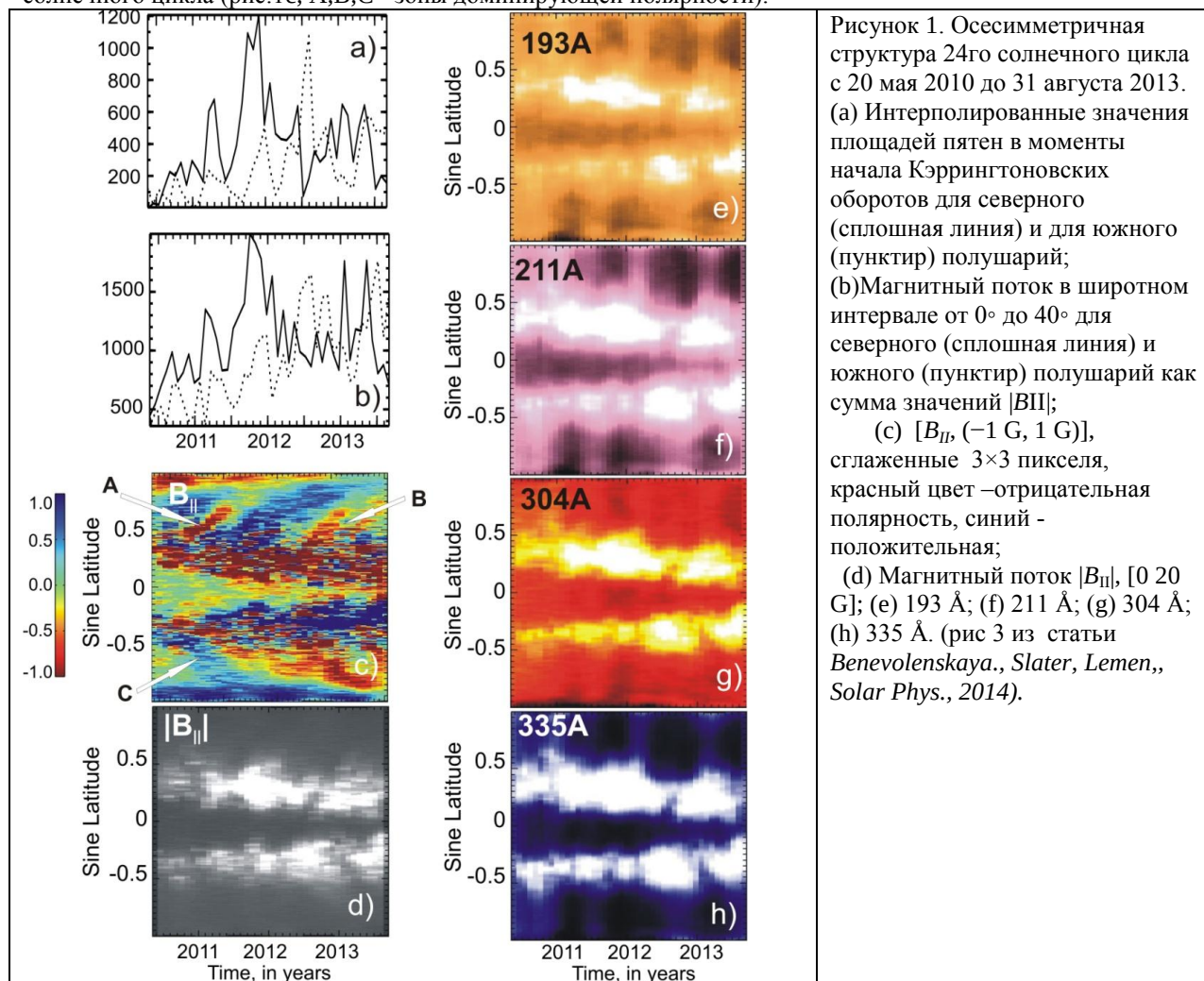


Рисунок 1. Осесимметричная структура 24го солнечного цикла с 20 мая 2010 до 31 августа 2013. (а) Интерполированные значения площадей пятен в моменты начала Кэррингтоновских оборотов для северного (сплошная линия) и для южного (пунктир) полушарий; (б)Магнитный поток в широтном интервале от 0° до 40° для северного (сплошная линия) и южного (пунктир) полушарий как сумма значений $|B_{II}|$; (с) $[B_{II}]$, (−1 G, 1 G), сглаженные 3×3 пикселя, красный цвет –отрицательная полярность, синий – положительная; (д) Магнитный поток $|B_{II}|$, [0 20 G]; (е) 193 Å; (ф) 211 Å; (г) 304 Å; (h) 335 Å. (рис 3 из статьи Benevolenskaya., Slater, Lemen., *Solar Phys.*, 2014).

ИСПОЛНИТЕЛЬ от ГАО: Беневоленская Е.Е. Публикации 2014 года по данной теме:

1. Benevolenskaya, E., Slater, G., Lemen, J., Synoptic Solar Cycle 24 in Corona, Chromosphere, and Photosphere seen by the Solar Dynamics Observatory, 2014, *Solar Phys.*, 289, Issue 9, pp.3371-3379.
2. Benevolenskaya, E. E., Shapovalov, S. N., Kostuchenko, I. G. Solar Spectral Irradiance and Total Solar Irradiance at a Solar Minimum, *Geomagnetism and Aeronomy*, 2014, Vol. 54, No. 7, 4 pp.
3. Benevolenskaya, E. E., Kostuchenko, I. G., Active Longitudes in Minima of Solar Activity, *Geomagnetism and Aeronomy*, 2014, Vol. 54, No. 8, 4pp.

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 (И.В.Кудрявцев, Ю.А.Наговицын, М.Г.Огурцов – ГАО РАН, В.А.Дергачев – ФТИ РАН)

Аннотация. Для реконструкции солнечной активности (СА) в прошлом используются данные по содержанию космогенного изотоп ^{14}C в кольцах деревьев. Данный 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 работах [1,2] 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. Кроме этого 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. Таким образом, 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 периода.

1. Koudriavtsev I.V, Dergachev V.A., Nagovitsyn Y.A, Ogurtsov M.G, Jungner H., “Influence of Climatic Factors on the Past Atmospheric Content of the C_14 Isotope” // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2013, Vol. 53, No. 8, p.927-931
2. 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, Vol. 41, No 3, p. 216–222.

Новые широтно-временные закономерности 11-летнего солнечного цикла (цикл из 9 работ).

В развитие известных законов Шперера и Маундера найдены новые закономерности, связывающие уровень солнечной активности в 11-летнем цикле и основные характеристики широтного распределения зоны пятнообразования. Показано, что ширина зоны пятнообразования тесно связана с текущим уровнем солнечной активности, а форма широтных распределений может быть в первом приближении описана нормальным законом. Найдено, что траектория средних широт групп солнечных пятен, характеризующая закон их широтного дрейфа на протяжении 11-летнего цикла, может быть с хорошей точностью аппроксимирована общей для всех циклов зависимостью, а положение этой траектории относительно экстремумов цикла связано с его амплитудой.

Полученные закономерности позволяют реконструировать широтно-временные распределения солнечных пятен в прошлом, а также могут быть использованы в качестве диагностических критериев для определения адекватных физических моделей солнечной цикличности. (Е.В. Милецкий, В.Г. Иванов, Ю.А. Наговицын – ГАО РАН)

Публикации:

1. Милецкий Е.В., Иванов В.Г.. Широтные характеристики зоны пятнообразования на Солнце и 11-летний цикл солнечной активности. // Астрон. журнал. 2009. т. 86, № 9. с. 922-927. (Miletsky E. V. and Ivanov V.G. Latitude characteristics of the sunspot formation zone and the 11-year solar activity cycle. // Astron. Reports 2009, Volume 53, Issue 9, pp.857-862).
2. Наговицын Ю.А., Иванов В.Г., Милецкий Е.В., Наговицына Е.Ю.. Минимум Маундера: северо-южная асимметрия пятнообразования, средние широты пятен и диаграмма бабочек. //Астрон. журнал. 2010. Т. 87, № 5. С. 524-528.
3. Ivanov, V. G.; Miletsky, E. V. Width of Sunspot Generating Zone and Reconstruction of Butterfly Diagram. // Solar Physics. 2011. V. 268, Issue 1, pp.231-242.
4. Иванов, В.Г., Милецкий, Е.В., Наговицын, Ю.А. Форма широтного распределения пятенной активности Солнца // Астрон. журнал 2011. Т. 88, № 10, с.989-996. (Ivanov, V. G.; Miletsky, E. V.; Nagovitsyn, Yu. A. Form of the latitude distribution of sunspot activity. // Astron. Reports. 2011, Volume 55, Issue 10, pp.911-917
5. Miletsky E. V.and Nagovitsyn Yu. A. Special Points in 11-Year Variations in the Latitudinal Characteristics of Sunspot Activity // Geomagnetism and Aeronomy, 2012, Vol. 52, No. 7, pp. 857–860).
6. Miletsky E. V., Ivanov V. G. and Nagovitsyn Yu. A. Properties of the Sunspot Latitudinal Distribution Skewness // Geomagnetism and Aeronomy, 2013, Vol. 53, No.8, pp. 962–965.
7. Ivanov, V. G. & Miletsky, E. V. Spörer's Law and Relationship between the Latitude and Amplitude Parameters of Solar Activity // Geomagnetism and Aeronomy, 2014, 54, Issue 7, 907-914.
8. Miletsky, E. V. & Ivanov, V. G. Interaction between the Amplitude and Length of the 11-Year Sunspot Cycle // Geomagnetism and Aeronomy, 2014, 54, Issue 8, 1000-1005.
9. Miletsky, E. V.; Ivanov, V. G. & Nagovitsyn, Y. A. Some properties of latitude-time evolution of local and background solar magnetic fields // Advances in Space Research, 2014, [doi:10.1016/j.asr.2014.05.006](https://doi.org/10.1016/j.asr.2014.05.006)

Колебания в хромосфере солнечных пятен со световыми мостами

Накаряков В.М. (ГАО РАН)

Анализ наблюдений солнечного пятна, выполненных в линии Ca II H с помощью оптического телескопа СОТ на космическом аппарате Хиноде, показал, что пятиминутные колебания локализованы не только на границе тени и полутени пятна, а также в световых мостах, расположенных в тени. Более того, пятиминутные колебания в световых мостах и на границе тени и полутени имеют одинаковую мощность. Мощность колебаний вдоль мостов практически не меняется. Анализ распределения фазы колебаний вдоль мостов показывает, что колебания являются стоячими в вертикальном направлении. Кроме того, найдено, что в направлении поперек мостов пятиминутные колебания являются бегущими волнами, распространяющимися от внешних границ мостов внутрь, к их центральным осям, что напоминает бегущие волны в полутени пятна. В тени пятна присутствуют трехминутные колебания, причем их фаза не зависит от того, с какой стороны от мостов колебания наблюдаются. Полученные результаты указывают на то, что световые мосты являются мелкими, и локализованы в хромосферной части тени пятна, что весьма важно для понимания их природы.

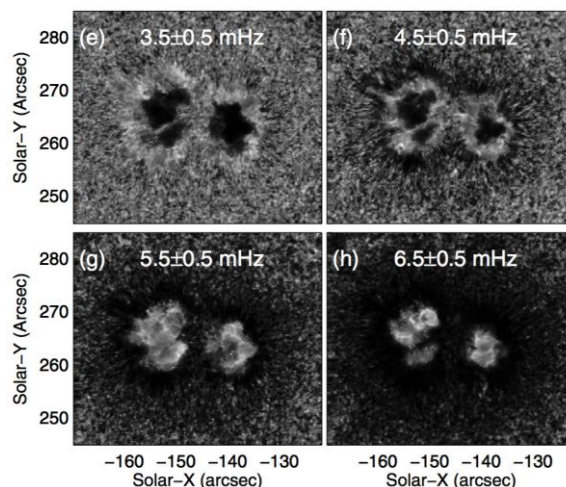


Рис. Карты распределения узкополосной спектральной мощности в тени и полутени пятна в различных диапазонах. Отчетливо наблюдаются световые мосты.

[1] Yuan, D., Nakariakov, V.M., Huang, Z.H., Li, B., Su, J.T., Yan, Y.H., Tan, B.L., [Oscillations in a sunspot with light bridges](#), *Astrophys. J.* **792**, 41, 2014, doi:10.1088/0004-637X/792/1/41

Квазипериодические быстрые магнитоакустические волновые пакеты в плазменных неоднородностях короны Солнца

Накаряков В.М., Куприянова Е.Г. (ГАО РАН)

Анализ прецизионных наблюдений короны Солнца выполненных с помощью инструмента AIA на космическом аппарате SDO показал наличие квазипериодических волновых пакетов вариаций интенсивности КУФ излучения с характерными периодами короче одной минуты, распространяющихся со скоростью около 1000 км/с. Показано, что волновые пакеты наблюдаются непосредственно после актов импульсного энерговыделения, характеризующихся всплесками радио-излучения [1]. Обнаружено, что наблюдаемые волновые пакеты являются результатом эволюции быстрых магнитоакустических

импульсов

в

плазменных

неоднородностях

короны

[2,3].

Сравнение

наблюдаемых свойств

быстрых волновых

пакетов

с

результатами прямого

численного

моделирования

данных процессов

позволяют установить параметры волноводных плазменных неоднородностей [4].

Полученные результаты открывают интересные возможности для установления структуры плазмы над активными областями, что необходимо для успешного предсказания солнечных вспышек и КВМ.

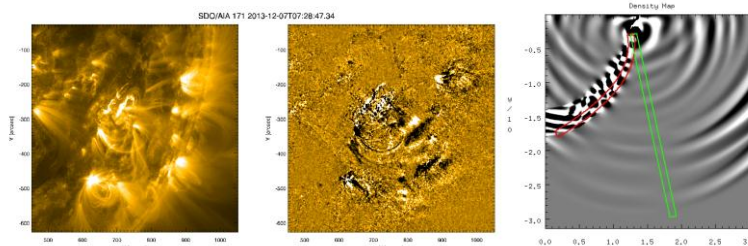


Рис. Быстрый магнитоакустический волновой пакет наблюдаемый в короне Солнца в интенсивности излучения в диапазоне 171 Å и в разностном изображении, а также в численном МГД моделировании.

- [1] Yuan, D., Shen, Y., Liu, Y., Nakariakov, V.M., Tan, B., Huang, J., [Distinct propagating fast wave trains associated with flaring energy releases](#), *Astron. Astrophys.* **554**, A144, 2013, doi: 10.1051/0004-6361/201321435
- [2] Pascoe, D.B., Nakariakov, V.M., Kupriyanova, E.G., [Fast magnetoacoustic wave trains in magnetic funnels of the solar corona](#), *Astron. Astrophys.* **560**, A97, 2013
- [3] Pascoe, D.B., Nakariakov, V.M., Kupriyanova, E.G., [Fast magnetoacoustic wave trains in coronal holes](#), *Astron. Astrophys.* **568**, A20, 2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201423931>
- [4] Nistico, G., Pascoe, D.B., Nakariakov, V.M., [Observation of a high-quality quasi-periodic rapidly-propagating wave train using SDO/AIA](#), *Astron. Astrophys.* **569**, A12, 2014, <http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201423763>

Модель динамо магнитной активности звезд солнечного типа

Проведены совместные расчеты дифференциального вращения, меридиональной циркуляции и динамо для ряда эволюционных состояний Солнца. Предложено объяснение наблюдаемой зависимости хромосферной (излучение в линиях ионизованного кальция) и корональной (рентгеновское излучение) активности от скорости вращения подобных Солнцу звезд. (Л.Л.Кичатинов, ГАО РАН, ИСЗФ СО РАН).

Публикация: B.B.Karak, L.L.Kitchatinov, A.R.Choudhuri, ApJ, 2014, 791, 59

Механизм возникновения магнитного плато

Предложен плазменный МГД механизм возникновения магнитного плато в магнитослое перед магнитосферой Земли и перед магнитным облаком в потоке солнечного ветра. При этом используется МГД метод пробного расчёта с учётом условий эволюционности. Решается задача Римана-Кочина (С.А.Гриб, ГАО РАН)

Публикации:

S.A.Grib, E.A.Pushkar. Some features of the interplanetary shock wave interactions connected with the thermal anisotropy and 3D flow past the Earth' bow shock. *Planetary and Space Science*, v.58, 14-15, 2010, pp.1850-1856. doi:10.1016/j.pss.2010.08.015.

С.А. Гриб. О нелинейных явлениях, связанных с движением солнечной ударной волны через магнитосферу Земли. *Геом. и Аэрономия*, т.53, №4, с.451-456, 2013.

С.А.Гриб, С.Н.Леора. Магнитные облака и магнитные дыры как типичные МГД структуры солнечном ветре. XVIII Всероссийская ежегодная конференция с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика 2014», СПб, ГАО (Пулково), 2014, 6 с.

Выявлен прогностический фактор больших (геоэффективных) вспышек на Солнце на основе анализа микроволнового излучения и магнитографических характеристик активных областей.

Абрамов-Максимов В.Е., Боровик В.Н., Тлатов А.Г. (ГАО РАН)
Опейкина Л.В. (САО РАН)

Опубликованные работы:

1. V.E.Abramov-Maximov, V.N.Borovik, L.V.Opeikina. *Geomagnetism and Aeronomy*, 2013, **53**, No. 8, pp. 989–996.
2. В.Е.Абрамов-Максимов, В.Н.Боровик, Л.В.Опейкина, А.Г.Тлатов. 2014, *Космические исследования*, **52**, № 1, сс. 3-16.
3. Abramov-Maximov, V.E., Borovik, V.N., Opeikina, L.V., Tlatov, A.G.: 2014, *Solar Phys.*, doi: 10.1007/s11207-014-0605-8.

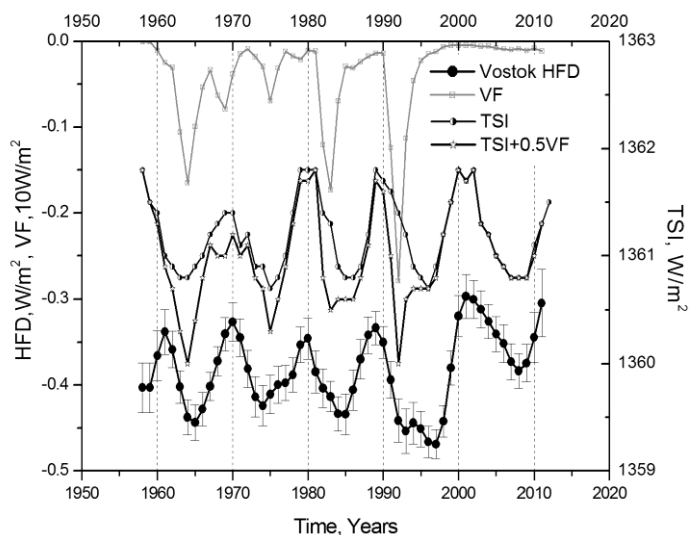
Результаты доложены на международных и всероссийских конференциях. Тезисы докладов опубликованы.

Аннотация:

Исследована эволюция ряда активных областей на Солнце, в которых в 2003-2012 гг. были зарегистрированы большие вспышки класса X (по рентгеновской классификации), которые в большинстве случаев были геоэффективными. В анализе использованы результаты ежедневных многоволновых спектрально-поляризационных много-азимутальных наблюдений Солнца в микроволновом диапазоне (1.6 – 6 см) на радиотелескопе РАТАН-600 и магнитографические характеристики групп пятен по данным спутников SOHO и SDO и результатам наземных наблюдений Солнца. Обнаружено, что за 1-2 дня перед вспышкой быстро развивался и затем, как правило, становился доминирующей компонентой источник микроволнового излучения над нейтральной линией фотосферного магнитного поля над местом наибольшего сближения пятен с противоположной магнитной полярностью, образовавшегося в результате всплывания нового магнитного поля и/или сдвиговых движений пятен. Именно в этом месте регистрировалась последующая большая вспышка. По своим характеристикам такие радиоисточники относятся к категории так называемых "пекулярных" источников, впервые обнаруженных на РАТАН-600 в начале 80-х и в дальнейшем неоднократно регистрируемых во вспышечно-активных областях. "Пекулярные" источники диагностируют большое энергосодержание, возникающее в предвспышечном состоянии в короне над активной областью, где в магнитном поле запасается необходимая для вспышки энергия. Раннее обнаружение развивающихся микроволновых источников над нейтральной линией фотосферного магнитного поля в активной области может использоваться в качестве прогностического критерия больших вспышек.

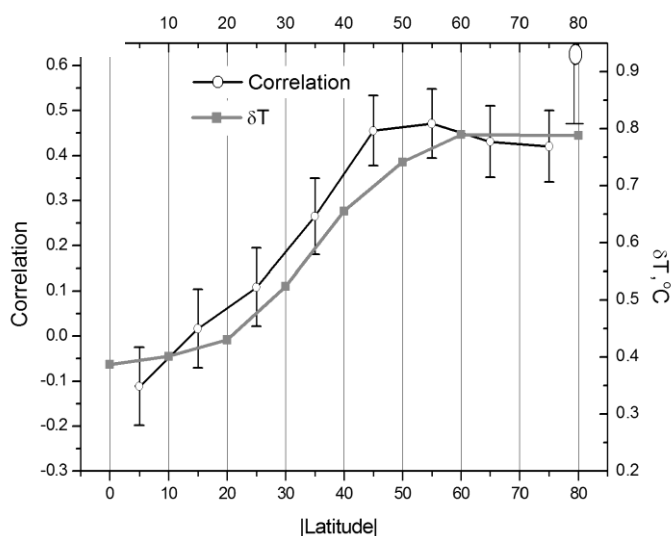
ОТКЛИК ВЫСОКОШИРОТНОГО КЛИМАТА НА ИЗМЕНЕНИЯ ИНСОЛЯЦИИ В 11-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ И ВУЛКАНИЗМ: ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕПЛОВОЙ ПОТОК (ВОЛОБУЕВ Д.М., МАКАРЕНКО Н.Г.)

Показано, что приземный тепловой поток, вычисленный из среднегодовых значений температуры на антарктической станции Восток при помощи решения обратной задачи теплопроводности, имеет выраженную 11-летнюю цикличность и значимую корреляцию с суммарным потоком инсоляции (TSI), исправленным за экранирование вулканическим аэрозолем. Корреляция подтверждается данными с других метеостанций, но спадает к экватору, что объясняется известным эффектом полярного усиления.



Heat flux density (HFD) at Vostok compared with total solar irradiance (TSI) and volcanic aerosol forcing (VF). TSI indicates the reconstructed version of total solar irradiance (Wang, Lean and Sheeley, 2005). Heat flux density errors are calculated using the Monte-Carlo approach by varying of initial temperature within its standard deviation from its smoothed series with smoothing parameter $a=0.5$. Vostok heat flux density (HFD) was calculated from observed temperatures and first value in 1958 was adjusted to annual energy balance which was measured at Dome A by Chen *et al.* (2010).

Широтная зависимость коэффициента корреляции управляющего воздействия на климат и вертикальных тепловых потоков у поверхности Земли (кружки) по сравнению с модельным откликом температуры на 0.1% изменения потока солнечного тепла (квадраты). Большим кружком показана корреляция (0.63 ± 0.22) для антарктической ст. "Восток".



Volobuev D. M., 11-year cyclicity of the near-surface heat flux at the Vostok station.

Geomagnetism and Aeronomy, 2013, Vol. 53, No. 7, pp. 887–890.

Volobuev D. M. Central antarctic climate response to the solar cycle //Climate Dynamics 2014. T. 42. №. 9-10. С. 2469-2475.

Volobuev D. M. Makarenko N.G. Global Correlation between Surface Heat Fluxes and Insolation in the 11-Year Solar Cycle: The Latitudinal Effect// Geomagnetism and Aeronomy, 2014, Vol. 54, No. 7, pp. 903–906.

Представленные результаты утверждены на заседании Ученого совета ГАО РАН 21 ноября 2014 г. Протокол заседания Ученого совета № 5 от 21.11.2014 г.

Директор ГАО РАН,
чл.-корр. А.В. Степанов

Долговременное отрицательное отклонение среднегодового энергетического баланса Земли от равновесного состояния приведёт к новому Малому ледниковому периоду (Абдусаматов Х.И.)

На основе исследований вариаций интегральной мощности солнечного излучения в течение трех последовательных минимумов между 11-летними циклами впервые непосредственно обнаружена квазидвухвековая составляющая в вариациях солнечной постоянной, скоррелированной с соответствующим уровнем вариации солнечной активности. Исследованиями отклонения среднегодового энергетического баланса Земли как планеты от равновесного состояния установлено, что приходные и расходные части тепловой мощности планеты благодаря термической инерции Мирового океана всегда находятся в несбалансированном состоянии, которое являясь основным состоянием климатической системы, формируется за счет накопленного в Мировом океане избытка или дефицита поступающей солнечной энергии. Благодаря входу Солнца с ~1990 г. в фазу спада квазидвухвекового цикла энергетическое состояние и среднегодовой энергетический баланс Земли как планеты и в дальнейшем будут иметь отрицательное отклонение от равновесного состояния, что после фазы максимума 24 цикла приведет к постепенному снижению температуры и наступлению вековой эпохи нового Малого ледникового периода. Последующие климатические механизмы обратной связи (нелинейные рост альбедо Бонда Земли и уменьшение концентрации, прежде всего водяного пара и других парниковых газов в атмосфере, вызванные похолоданием) приведут к дополнительному существенному понижению температуры. На основе исследований вариаций интегральной мощности солнечного излучения в течение трех последовательных минимумов между 11-летними циклами 21/22, 22/23 и 23/24 можно ожидать наступления фазы глубокого минимума солнечной постоянной в квазидвухвековой циклической деятельности Солнца в $27(\pm 1)$ -м цикле, ориентировочно в 2043 ± 11 г. Обусловленный глубоким спадом поглощаемой Землей солнечной энергии, а также дополнительным существенным воздействием последовательной цепочки климатических эффектов обратной связи наступление фазы глубокого минимума температуры квазидвухвекового цикла с учетом термической инерции Мирового океана можно ожидать ориентировочно в 2060 ± 11 г. Отсутствия роста земной температуры и значимого повышения уровня Мирового океана в течение последних 17 лет благодаря общему снижению солнечной постоянной с ~1990 г. оказывают решающую поддержку этим прогнозам, выполненным в цикле работ за период с 2003 по 2014 г.

Цикл основных публикаций:

1. *Абдусаматов Х.И.* О долговременных скоординированных вариациях активности, радиуса, светимости Солнца и климата // Труды VII Пулковской международной конференции по физике Солнца «Климатические и экологические аспекты солнечной активности». СПб. 2003. С. 3-10.
2. *Абдусаматов Х.И.* Скоординированные вариации диаметра, активности и светимости Солнца и эксперимент «Измерения временных вариаций формы и диаметра Солнца» на борту Российского сегмента МКС // Петербургские фрагменты научной картины мира, вып. 2. Санкт-Петербург, 2003, с. 8 – 20.
3. *Abdussamatov H.I.* About the long-term coordinated variations of the activity, radius, total irradiance of the Sun and the Earth's climate // Proceedings of IAU Symposium No. 223. Cambridge university press. 2004. P. 541–542.
4. *Абдусаматов Х.И.* О долговременных вариациях потока интегральной радиации и возможных изменениях температуры в ядре Солнца // Кинематика и физика небесных тел. 2005. Т. 21. № 6. С. 471-477.

5. Абдусаматов Х.И. О долговременных вариациях солнечной светимости и понижении глобальной температуры Земли после максимума XXIV цикла активности и светимости // Экспериментальные и теоретические исследования основ прогнозирования гелиогеофизической активности. Труды всеросс. конференции. Троицк. 2006. С. 3-8.
6. Х.И. Абдусаматов Мониторинг формы и диаметра Солнца на Служебном модуле Российского сегмента МКС // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 4. С. 26-32.
7. Абдусаматов Х.И. О времени завершения текущего солнечного цикла и зависимости продолжительности 11-летних циклов от фазы векового цикла // Кинематика и физика небесных тел. 2006. Т. 22. № 3. С. 183-186.
8. Абдусаматов Х.И. Об оптимальном прогнозировании высоты следующего 11-летнего цикла активности и нескольких последующих циклов на основе долговременных вариаций радиуса Солнца или солнечной постоянной // Кинематика и физика небесных тел. 2007. Т. 23. № 3. С. 141-147.
9. Абдусаматов Х.И. Об уменьшении потока солнечного излучения и понижении глобальной температуры Земли до состояния глубокого похолодания в середине XXI века // Известия КрАО. 2007. Т. 103. № 4. С. 292-298.
10. Результаты автора о грядущем наступлении минимума двухвекового цикла солнечной активности отмечены в итогах: Trimble V, Aschwanden M.J., Hansen C.J. Astrophysics in 2006 // Space Sci. Rev. 2007. No. 1. pp. 1–182.
11. Абдусаматов Х.И., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Методы обеспечения термостабильности космического телескопа – солнечного лимбографа. Санкт-Петербург: Изд-во Политех. ун-та. 2008. –194 с.
12. Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли. СПб. Из-во «Logos». 2009. –197 с.
13. Абдусаматов Х.И. Солнце определяет климат // Наука и жизнь. 2009. № 1. С.34-42.
14. Абдусаматов Х.И. Солнце и климат // Государственное управление ресурсами. 2009. № 3. С. 22 – 33.
15. Abdussamatov H.I. The Sun dictates the climate // Fourth International Conference on Climate Change (ICCC-4), ppt-presentation. Chicago. 2010. <http://climateconferences.heartland.org/habibullo-abdussamatov-iccc4-2/>
16. Абдусаматов Х.И. Двухвековое снижение солнечной постоянной приводит к несбалансированному тепловому бюджету Земли и Малому ледниковому периоду // Труды Всерос. конфер. «Солнечная и солнечно-земная физика – 2011». СПб. 2011. С. 295-298.
17. Abdussamatov H.I. Bicentennial decrease of the total solar irradiance leads to unbalanced thermal budget of the Earth and the Little Ice Age // Applied Physics Research. 2012. Vol. 4. N 1, pp. 178-184.
18. Абдусаматов Х.И. Двухвековое снижение солнечной постоянной приводит к несбалансированному тепловому бюджету Земли и глубокому похолоданию климата // Кинематика и физика небесных тел. 2012. 28. № 2. С. 22-33.
19. Abdussamatov H.I. Grand minimum of the total solar irradiance leads to the Little Ice Age // Journal of Geology & Geosciences. 2013, 2, 2: 113 <http://dx.doi.org/10.4172/jgg.1000113>
20. Абдусаматов Х.И. Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведёт к Малому ледниковому периоду. Санкт-Петербург: Изд-во Нестор-История. 2013. –246 с.
21. Абдусаматов Х.И. Долговременный отрицательный среднегодовой энергетический баланс Земли приведёт к Малому ледниковому периоду // Тез. докл. Всерос. ежегодн.

- конф. с межд. участием. 2014. СПб. С. 3. // Сборник трудов Всерос. ежегодн. конф. с межд. участием «Солнечная и солнечно-земная физика – 2014». 2014. СПб. С. –....
22. *Abdussamatov H.I.* 2014 – the Beginning of the new Little Ice Age // Ninth International Conference on Climate Change (ICCC-9), ppt-presentation. Las Vegas. 2014. http://climateconferences.heartland.org/habibullo-abdussamatov-iccc9-panel-7/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=habibullo-abdussamatov-iccc9-panel-7
23. *Abdussamatov Habibullo* Current long-term negative average annual energy balance of the Earth leads to the new Little Ice Age // Thermal Science. 2014-2015. Vol. 18. Suppl. Issue, pp. - .

Отдел Физики Солнца

1. Асинхронность инверсии полярных магнитных полей Солнца в текущем цикле

Инверсия магнитного поля Солнца в текущем цикле изучена в соотношении с развитием пятенной активности. Показано, что северо-южная асимметрия магнитной активности (рис. а,с) привела к асинхронности инверсии магнитного поля на северном и южном полюсах Солнца (рис. b). В 2011 и 2012 гг в северном и южном полушариях наблюдались мощные комплексы активности, соответствующие максимумы площадей пятен отмечены буквами N и S на рис. а,с. На рис. b показано широтно-временное распределение слабых фоновых магнитных полей Солнца (в красно-синей шкале). Черными пятнами отмечены зоны интенсивного пятнообразования, в которых наблюдались комплексы активности – концентрировались сильные магнитные поля.

После распада комплексов активности их остаточные магнитные поля рассеялись в фотосфере, образуя обширные униполярные магнитные области (УМО). Далее УМО переносились меридиональной циркуляцией к полюсам Солнца. В соответствие с импульсами активности в разных полушариях наблюдалась и асинхронность образования высокоширотных УМО. На широтно-временной диаграмме (рис. b) стрелками отмечены широтные дрейфы УМО хвостовых полярностей, которые предопределили инверсию магнитных полей на полюсах Солнца. На северном полюсе Солнца магнитное поле изменило полярность к маю 2013 г. Позднее развитие активности в южном полушарии привело к задержке инверсии магнитного поля на южном полюсе.

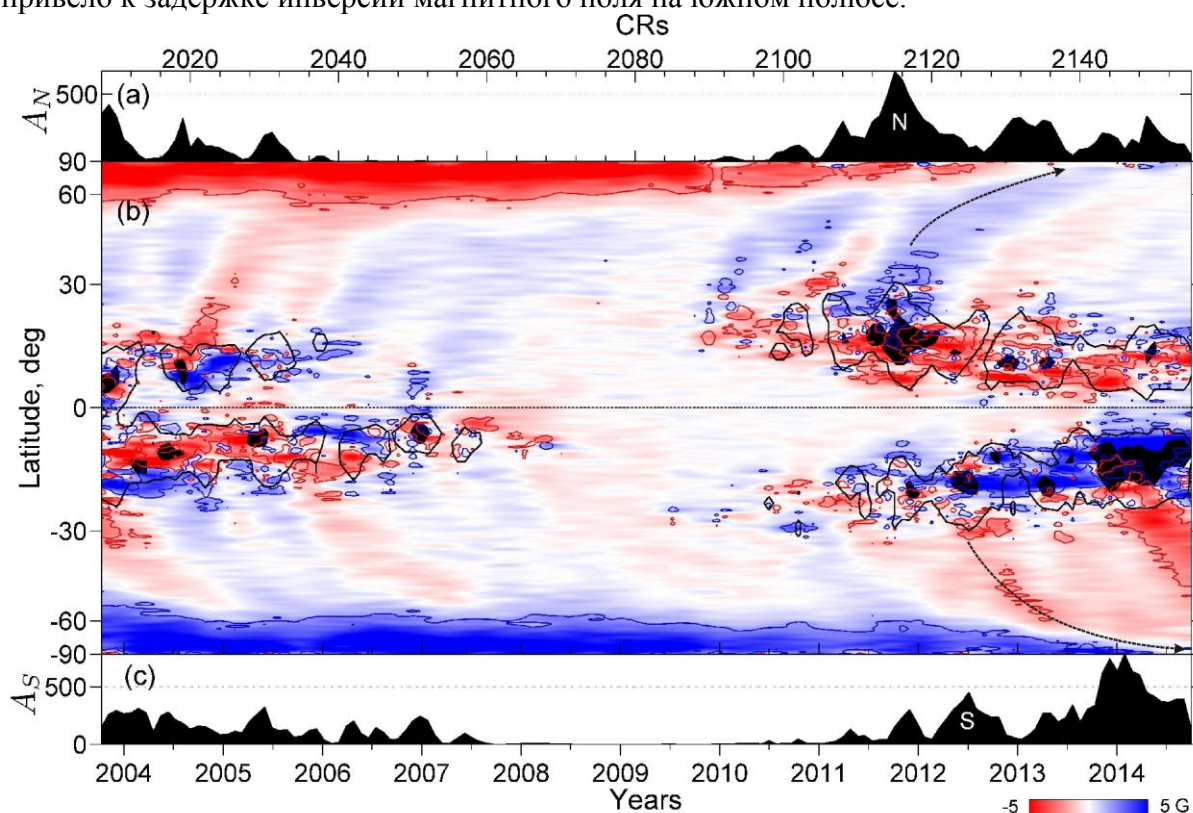
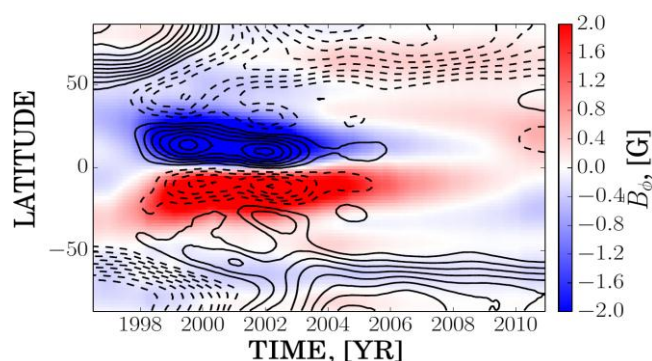


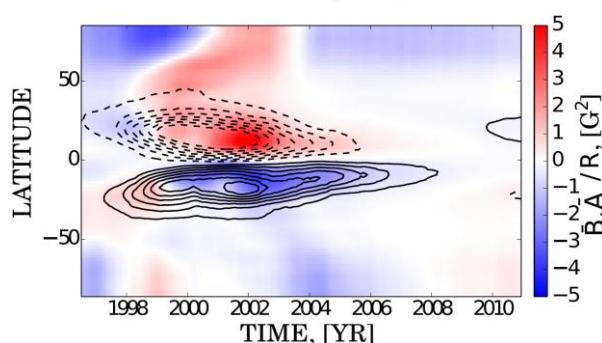
Рис. (а, с) – изменения площадей солнечных пятен в северном и южном полушариях Солнца (A_N , A_S); (b) – широтно-временное распределение усредненных магнитных полей (в сине-красной цветовой шкале), черными пятнами показаны зоны интенсивного пятнообразования.

Публикации

1. Mordvinov A.V., Yazev S.A. Reversals of the Sun's polar magnetic fields in relation to activity complexes and coronal holes // **Solar Physics** V. 289. P. 1971-1981. 2014.
2. Доклады на ассамблее КОСПАР и симпозиуме СКОСТЕП.



Реконструкция эволюции осесимметричного тороидального магнитного поля Солнца в цикле 23 по SOHO/MDI. Восстановленное тороидальное поле показано цветом, контурами показано радиальное магнитное



Используя стандартную калибровку вектор-потенциала посчитали магнитную спиральность глобального поля Солнца. Цветом показана плотность магнитной спиральности и контурами тороидальное магнитное поле.

Вывод: Установлено правило спиральности для глобального магнитного поля Солнца, в северном полушарии «+» и «-» в южном: противоположно правилу для АО!

Публикации:

Pipin V.V., Pevtsov A.A., 2014, ApJ
Pipin V.V., COSPAR 2014, устный, пригл.

2. Генерация магнитного поля в лучистой зоне Солнца.

Изучена бароклиническая неустойчивость в лучистой зоне звезды с неоднородным по радиусу вращением. Неустойчивость появляется при малой неоднородности вращения с относительной величиной около 0.1%. Имеется два семейства неустойчивых возмущений, соответствующих волнам Россби и внутренним гравитационным волнам. Неустойчивость является динамической: время ее развития составляет несколько тысяч периодов вращения, но мало по сравнению со временем эволюции звезды. Неустойчивые возмущения обладают кинетической спиральностью. Возможна генерация магнитного поля возникающей в результате развития неустойчивости турбулентностью. Такое «бароклинное динамо» может иметь отношение к происхождению реликтовых магнитных полей Солнца и звезд.

1. Опубликовано в статье: Kitchatinov L.L. Baroclinic instability in stellar radiation zones. – *Astrophys. J.* 2014. V.784. 81 (9p.).

3. 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.

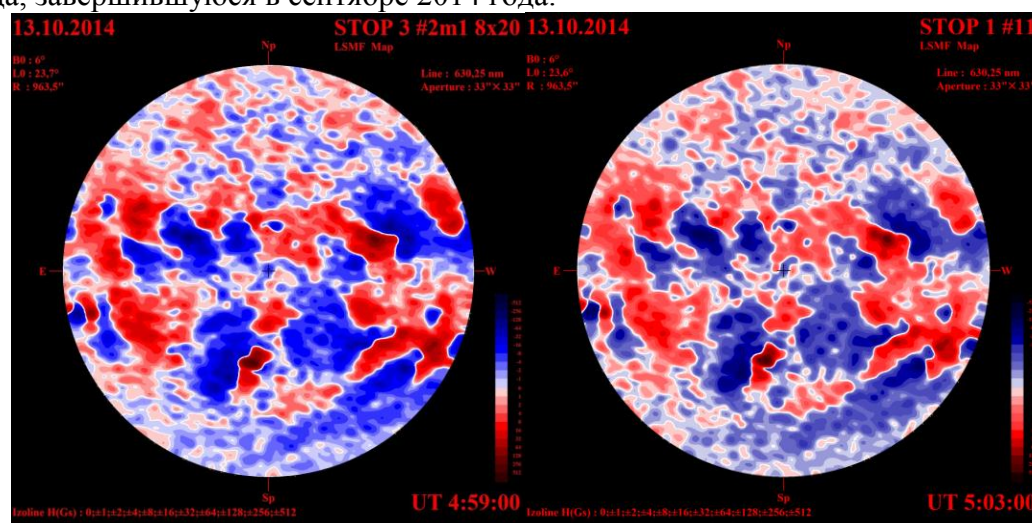


Рисунок 1. Пример карт измеренных магнитных полей Солнца за 13 октября 2014г., полученных почти одновременно в ГАС ГАО (СТОП-3) и Байкальской астрофизической обсерватории (СТОП-1)

Телескопы 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. 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.

4. Магнитограф СОЛСИТ для измерения полного вектора магнитных полей Солнца

В 2014 году были проведены работы по созданию СОЛнечного СИноптического Телескопа (СОЛСИТ). По заказу ИСЗФ СО РАН в ОАО ЛОМО изготовлена оптика телескопа, а силами ИСЗФ – монтаж и магнитограф. Телескоп предназначен для мониторинга векторных магнитных полей, движений плазмы и структуры хромосферы. Завершающий этап проходит на ОАО ЛОМО (рис. 2), где осуществляется сборка всех узлов телескопа. Первые результаты испытаний магнитографа СОЛСИТ представлены на рис. 3 в виде карты распределения круговой поляризации для одной из активных областей на Солнце (линия железа 525 нм). Для сравнения приводятся аналогичные данные прибора HMI на борту орбитальной станции SDO (линия железа 617.3 нм).



Рисунок 2. Процесс сборки телескопа СОЛСИТ на ОАО ЛОМО

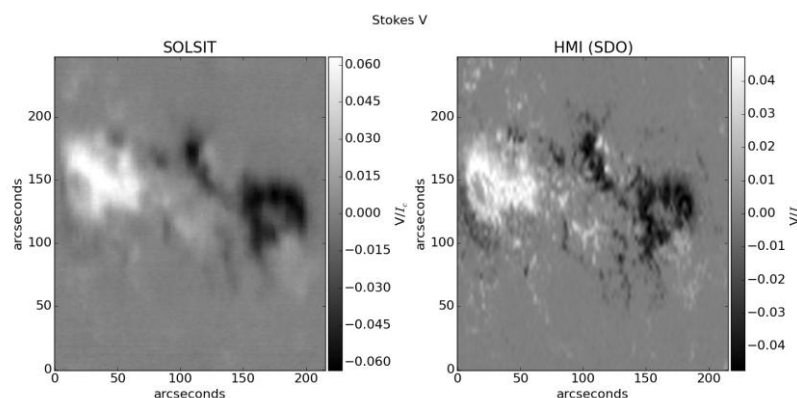


Рисунок 3. Карта распределения круговой поляризации (V параметр Стокса), полученной на магнитографе СОЛСИТ (слева) и SDO/HMI (справа)

СОЛСИТ будет использоваться для выполнения наблюдений в создаваемой Системе мониторинга геофизической обстановки. Единственный аналог инструмента расположен на территории США. Последним определяется важность результата для диагностики и прогноза геоэффективных явлений над территорией Российской Федерации.

Публикации

1. О.А. Волков, С.А. Денисенко, М.Л. Демидов, В.М. Григорьев, Л.Б. Ретюнский. «Телескоп солнечный синоптический» // Патент на промышленный образец RU 90737 МКПО 16-06. 2014

2. М.Л. Демидов, В.М. Григорьев, Л.Б. Ретюнский, В.И. Скоморовский, С.А. Денисенко, Ю.Д. Пименов, Н.А. Липин, М.Н. Сокольский, В.Ф. Гусаров. «СОЛСИТ – солнечный синоптический телескоп – новый российский проект для исследований магнетизма Солнца» // Труды всероссийской конференции по солнечно-земной физике, посвященной 100-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН В.Е. Степанова», Иркутск 2013, С. 232.

5. Начало наблюдений крупномасштабных магнитных полей Солнца на телескопе-магнитографе (ГАС ГАО РАН и ИСЗФ СО РАН)

С 01 июля 2014 г. начаты регулярные наблюдения крупномасштабных магнитных полей Солнца на солнечном телескопе оперативных прогнозов (СТОП-3), установленном на Кисловодской Горной астрономической Станции ГАО РАН.

Три телескопа СТОП разработаны и изготовлены Институтом солнечно-земной физики СО РАН и Институтом автоматики и электрометрии СО РАН и установлены в трех обсерваториях России в рамках ФЦП «Геофизика»

Телескопы предназначены для получения ежедневных данных о крупномасштабных магнитных полях на диске Солнца. Информативность и точность измерений напряженности магнитного поля является лучшим для подобных систем в мире.

Первые регулярные наблюдения на ГАС ГАО позволили отнаблюдать переполусовку магнитного поля Солнца, завершившуюся в сентябре 2014 года.

На рисунке 1 почти одновременные магнитограммы на СТОП-1 (Байкальская астрофизическая обсерватория) и СТОП-3 (Горная астрономическая станция) подтверждают высокое качество и надежность данных телескопа СТОП.

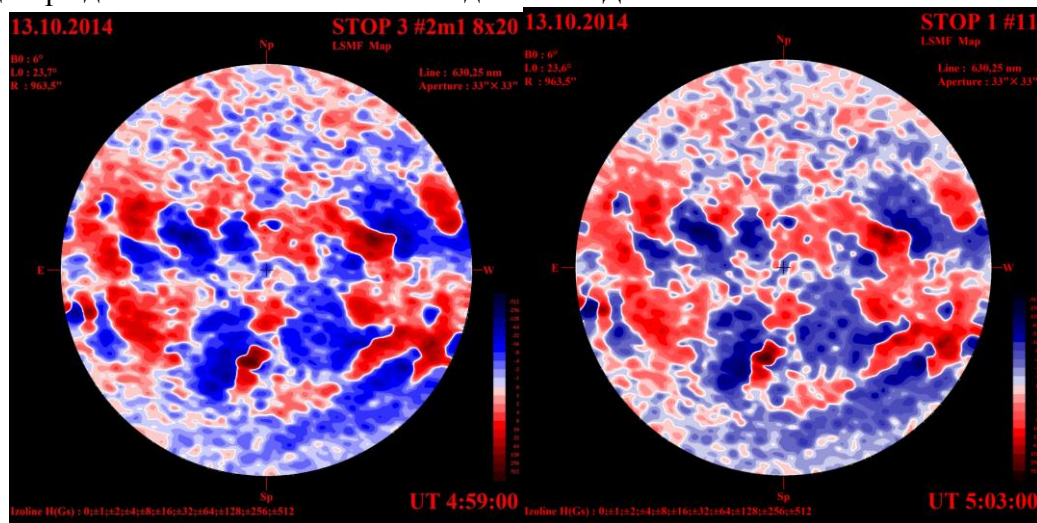


Рис.1. Пример карт измеренных магнитных полей Солнца за 13 октября 2014г. , полученных почти одновременно в ГАС ГАО (СТОП-3) и Байкальской астрофизической обсерватории (СТОП-1).

Телескоп-магнитограф 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. В настоящее время Россия стала третьей страной (после США и КНР), которая может 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 (трубопроводы, электрические сети и пр.) и других технологий.

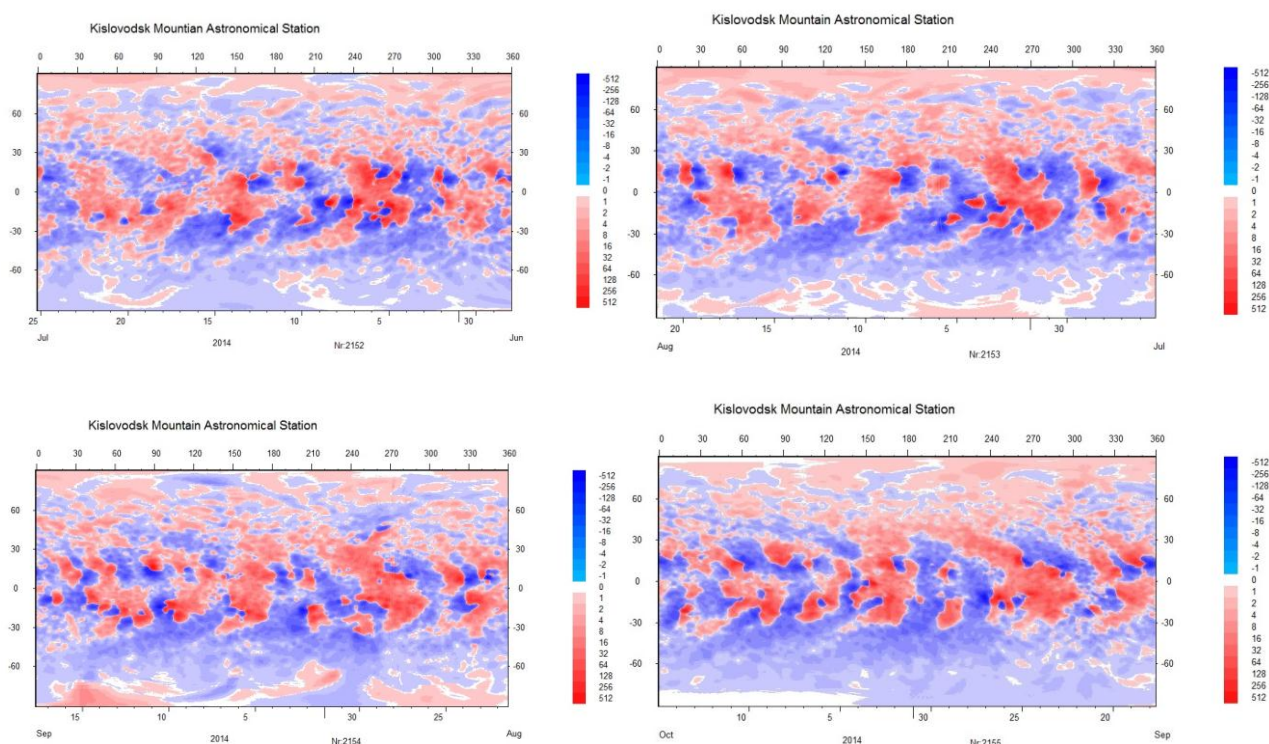


Рис.2. Синоптические карты магнитного поля, построенные для Кэррингтоновских оборотов №2152 ÷ 2155 по данным наблюдений телескопа СТОП на ГАС ГАО РАН в период июля-октября 2014 г.

Данные наблюдений доступны на сайте:
http://solarstation.ru/sun-service/magnetic_field.

Публикации:

1. Тлатов А. Г., Дормидонтов Д.В., Шрамко А.Д., Кирпичев Р.В., Пащенко 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.

6. С целью поиска частотных мод, наиболее эффективно проникающих в корону Солнца из нижних слоев солнечных факелов, были исследованы спектры мощности колебаний лучевой скорости и интенсивности по данным наземного телескопа (линии Si I 10827 Å и He I 10830 Å) и данным спутникового телескопа Solar Dynamics Observatory (SDO) (линии Fe I 6173, 1700 Å, He II 304 Å, Fe IX 171 Å). Анализ пространственного распределения мощности колебаний для разных высот выявил, что

верные структуры в короне (уровень $171 \text{ \AA}$) воспроизводятся лучше в частотном диапазоне 1–1.5 мГц. Это означает, что колебания с периодами 10–15 мин преобладают в корональных петлях над факельными областями. Пятиминутные колебания, которые повсеместно доминируют в сигналах лучевой скорости, измеряемых в нижних слоях факелов, в корональных петлях заметны лишь в отдельных компактных фрагментах. В спектрах интенсивности излучения в факелах низкие частоты доминируют на всех уровнях высоты. Наибольшая амплитуда колебаний, определяемая по глубине модуляции интенсивности, наблюдается в полосе $304 \text{ \AA}$. Kobanov, N. I.; Chelpanov, A. A. "The relationship between coronal fan structures and oscillations above faculae regions", *Astronomy Reports*, 2014, Volume 58, Issue 4, pp.272-279. R. I. Kostik, N. G. Shchukina, N. I. Kobanov, V. A. Pulyaev, "Influence of magnetic field on propagation of five-minute oscillations in the sun's atmosphere: Phase shifts", *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 2014, Volume 30, Issue 1, pp 40-45

7. Выполнен анализ колебаний ширины профиля спектральной линии $H\alpha$ по наблюдениям хромосферы в основании солнечных корональных дыр (КД). В среднем по 10 временным сериям максимальный размах колебаний составил 64 миллиангстрема. Прямые расчеты показывают, что эта величина не может быть достигнута за счет температурных колебаний, поскольку наблюдаемые в ходе эксперимента периодические флуктуации интенсивности не превосходили 2.5%, что соответствует уширению профиля $H\alpha$ всего на 1.5–2 миллиангстрема. Прослеживается зависимость амплитуды колебаний ширины профиля от угла зрения, под которым наблюдаются корональные дыры на солнечном диске. Максимальные амплитуды отмечаются в диапазоне углов от 40 до 55°, что возможно связано с углом наклона магнитных трубок и с различными свойствами корональных дыр, которые мы наблюдаем. Авторы предполагают, что наблюдаемые вариации могут быть следствием распространения в хромосфере КД торсионных альфвеновских волн. Zubkova, A. V.; Kobanov, N. I.; Sklyar, A. A.; Kostyk, R. I.; Shchukina, N. G., "Periodic variations of the $H\alpha$ profile width in the chromosphere of coronal holes as a possible indicator of Alfvén waves" *Astronomy Letters*, 2014, Volume 40, Issue 4, pp.222-229.

8. Выполнено исследование контуров линии $K \text{ Ca II}$ в ячейках хромосферной сетки и флоккулах в основании корональной дыры для двух временных серий наблюдений. На данном этапе работы для проведения спектрального анализа был выбран параметр I_{K_3} -интенсивность в центре линии K . Оказалось, что в ячейках хромосферной сетки на уровне образования центральной интенсивности линии K присутствуют колебания широкого диапазона частот, часто с усиленной мощностью в области низких частот. При этом форма контуров может иметь почти безпиковую структуру. Во флоккуле, который находится на участке S25W17, наблюдаются очень мощные колебания с периодом 5 минут. В другом флоккуле, расположенном в области под яркой точкой в корональной дыре, преобладают низкочастотные колебания. Для обоих флоккулов характерна изменяющаяся во времени асимметрия контуров. С.А. Григорьева, И.П. Турова, О.А. Ожогина «Форма контуров линии $K \text{ Ca II}$ и колебания в солнечной атмосфере в основании корональной дыры» (сдана в печать). О.А.Ожогина, Р.Б.Теплицкая «ИЗМЕНЕНИЕ ОТ ЦЕНТРА К КРАЮ ДИСКА НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЯРКОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ХРОМОСФЕРЫ ПО ЛИНИЯМ CaII », *Письма в Астрономический журнал*, 2014, том 40, N 6, с. 404-415

Отдел радиоастрофизики

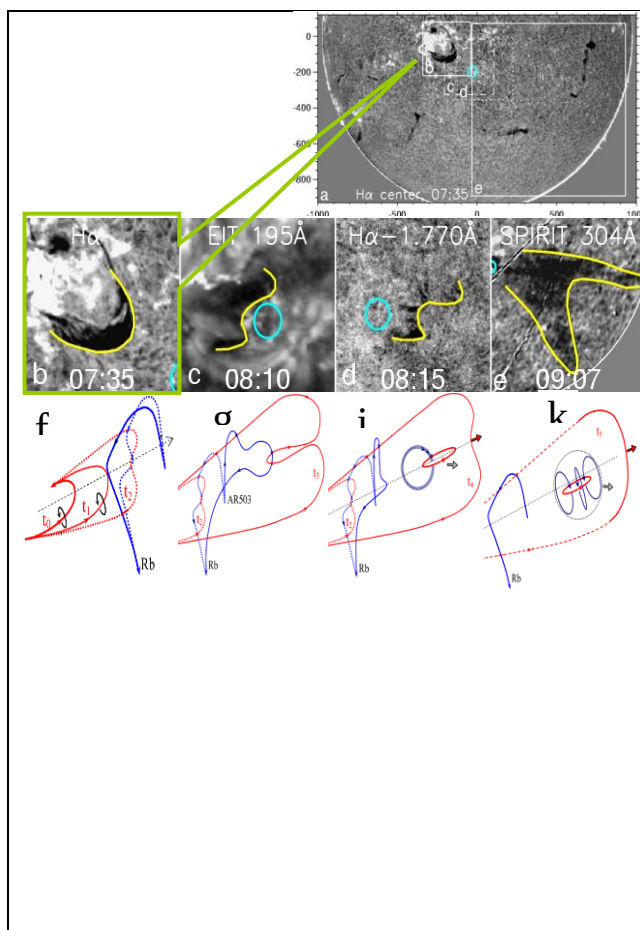


Рис. 1. Наблюдавшийся в разных спектральных диапазонах протуберанец и проявления его трансформации после прохождения магнитной нулевой точки (а–е): а), б) до эрупции (Обсерватория Канцельхойе – KSO, линия $H\alpha$), в) столкновение с корональной структурой (SOHO/EIT, 195 Å), д) изменение формы после столкновения (KSO, дальнейшее синее крыло линии $H\alpha$), е) облако плазмы, образованное веществом протуберанца (КОРОНАС-Ф/СПИРИТ, 304 Å). Рамки на изображении (а) соответствуют областям, показанным на изображениях (б–е). Внизу: картина формирования сферомака в результате топологической катастрофы эруптивного протуберанца и последовательности магнитных пересоединений (f–k).

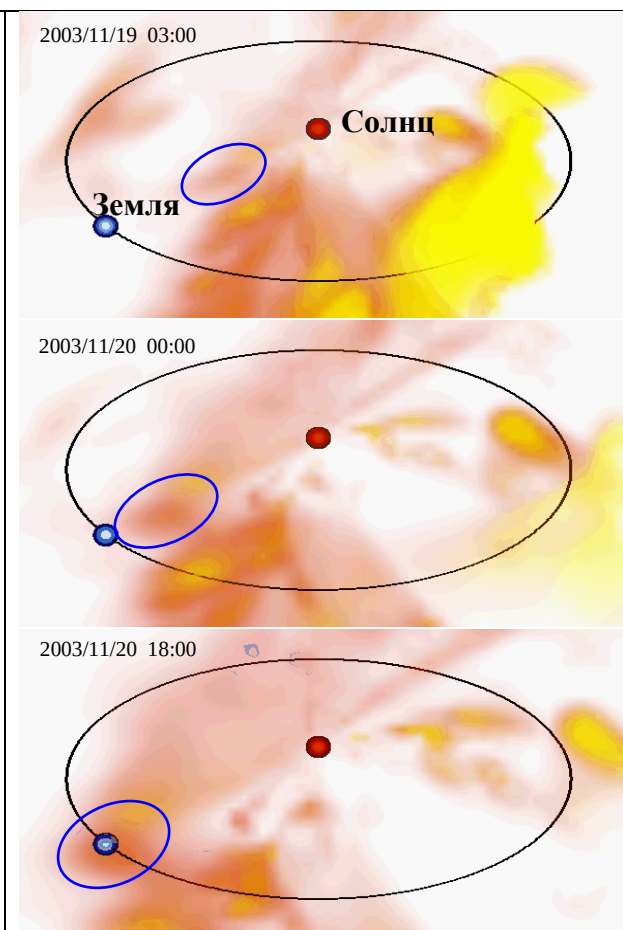


Рис. 2. Сферомак (обведён голубым овалом), движущийся от Солнца к Земле на трёхмерных распределениях плотности в гелиосфере, восстановленных в Калифорнийском Университете Сан-Диего по данным наблюдений SMEI.

В цикле из четырех статей детально исследованы причины аномальной мощности магнитной бури 20 ноября 2003 г., вызванной воздействием на магнитосферу Земли относительно среднего по параметрам коронального выброса, произошедшего 18 ноября 2003 г. в активной области 10501. Показано, что основной причиной является необычно компактная магнитная структура выброса типа «сферомак», обеспечившая перенос значительных локальных магнитных полей до орбиты Земли. Исследованы условия формирования подобной магнитной конфигурации и особенности межпланетной среды,

обеспечившей ее сохранение на пути к Земле. По интерпретации различных аспектов данного события опубликованы десятки работ и критический анализ, выполненный в данных четырех статьях, позволил детально описать развитие этого события от старта на Солнце до его геоэффективных проявлений.

Grechnev V.V.; Uralov, A. M.; Slemzin, V. A.; Chertok, I. M.; Filippov, B. P.; Rudenko, G. V.; Temmer, M. A Challenging Solar Eruptive Event of 18 November 2003 and the Causes of the 20 November Geomagnetic Superstorm. I. Unusual History of an Eruptive Filament, *Solar Physics* Grechnev, V. V.; Uralov, A. M.; Chertok, I. M.; Slemzin, V. A.; Filippov, B. P.; Egorov, Y. I.; Fainshtein, V. G.; Afanasyev, A. N.; Prestage, N. P.; Temmer, M. A Challenging Solar Eruptive Event of 18 November 2003 and the Causes of the 20 November Geomagnetic Superstorm. II. CMEs, Shock Waves, and Drifting Radio Bursts, *Solar Physics*, Volume 289, Issue 1, pp.289-318, 2014

Uralov, A. M.; Grechnev, V. V.; Rudenko, G. V.; Myshyakov, I. I.; Chertok, I. M.; Filippov, B. P.; Slemzin, V. A. A Challenging Solar Eruptive Event of 18 November 2003 and the Causes of the 20 November Geomagnetic Superstorm. III. Catastrophe of the Eruptive Filament at a Magnetic Null Point and Formation of an Opposite-Handedness CME, *Solar Physics*, Volume 289, Issue 10, pp.3747-3772, 2014

Grechnev, V. V.; Uralov, A. M.; Chertok, I. M.; Belov, A. V.; Filippov, B. P.; Slemzin, V. A.; Jackson, B. V. 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 Physics*, Volume 289, Issue 12, pp.4653, 2014
(ИСЗФ, ФИАН, ИЗМИРАН)

Обнаружена корреляция между величиной эрупции магнитного потока и геомагнитным индексом A_p . При росте магнитного потока от десятков до 500 (в единицах 10^{20} Мкс), геомагнитная интенсивность соответствующей бури, измеряемая 3-часовым индексом A_p , повышается, в среднем, от $A_p \sim 50$ до максимально возможного 400 (в единицах 2 nT). Chertok, I. M.; Abunina, M. A.; Abunin, A. A.; Belov, A. V.; Grechnev, V. V. Relationship Between the Magnetic Flux of Solar Eruptions and the A_p Index of Geomagnetic Storms, *Solar Physics*, Online First, 2014 (ИЗМИРАН, ИСЗФ)

Современные методы и инструментарий наблюдений солнечных явлений показывают, что функция распределения излучающих частиц отличаются от обычно применяемой комбинации теплового и степенного распределений. Одним из методов идентификации распределения могут являться спектральные радионаблюдения. Аналитически получены коэффициенты излучения и поглощения для популярных в последнее время каппа- и N-распределений и показано, что они существенно отличаются друг от друга и от классической максвелловской плазмы. В частности, радиояркость гирослоя увеличивается с оптической глубиной для каппа-распределения, но уменьшается в случае N-распределения. Как следствие, гирорезонансное излучение плазмы с немаксвелловскими распределениями будет заметно поляризовано даже в оптически толстом режиме, тогда как для максвелловской плазмы поляризация строго равна нулю. Это свойство можно использовать для дистанционного зондирования распределений плазмы в астрофизических источниках, включая активные области на Солнце.

G.D. Fleishman, A.A. Kuznetsov, "Theory of gyroresonance and free-free emissions from non-Maxwellian quasi-steady-state electron distributions", *ApJ*, **781**, 77, 2014 (ФТИ, ИСЗФ)

На примере вспышки 21 мая 2004 г с простой однопетельной конфигурацией проведено сравнение данных микроволновых наблюдений с модельными, рассчитанными с помощью разработанной интерактивной IDL технологии GX Simulator. Сравнительный анализ позволил определить пространственные и спектральные свойства распределения нетепловых электронов. Было показано, что излучение генерируется высокоэнергичными

электронами с относительно жестким спектром, сконцентрированными вблизи вершины петли. В то же время, поток электронов с энергией более 100 кэВ вблизи оснований был слишком мал, чтобы они могли быть зарегистрированы в интегральном потоке и на изображениях RHESSI. Изображения SOHO в вакуумном ультрафиолете и особенности низкочастотной части микроволновых спектров дают основание предполагать, что вспышечная петля погружена в среду с меньшим магнитным полем. Скорее всего, распределение энергичных электронов в рассматриваемой вспышке формируется в результате локализованного ускорения/инжекции электронов в вершине петли с последующими процессами захвата и рассеяния.

A.A. Kuznetsov, E.P. Kontar, “Spatially-resolved Energetic Electron Properties for the 21 May 2004 Flare from Radio Observations and 3D Simulations”, *Solar Physics*, in press, 2014, arXiv:1403.5751. (ИСЗФ)

Разработана IDL платформа, позволяющая (а) импорт фотосферных карт магнитного поля и выполнение экстраполяции магнитного поля с практически мгновенной реконструкцией 3D моделей магнитного поля, (б) исследование магнитной топологии этих моделей по интерактивно создаваемым силовым линиям и связанными с ними магнитными трубками, (в) заполнение силовых трубок заданной пользователем неоднородной термической плазмой и электронами с анизотропным, неоднородным и нетепловым распределением; (г), моделирование пространственных и спектральных свойств радио и рентгеновского излучения, и (д), проведение сравнительного анализа моделей с данными наблюдений. G.M. Nita, G.D. Fleishman, A.A. Kuznetsov, E.P. Kontar, D.E. Gary, “3D Radio and X-Ray Modeling and Data Analysis Software: Revealing Flare Complexity”, in press, *ApJ*, 2014, arXiv:1409.0896. (ИСЗФ, ФТИ)

Разработан метод быстрого и точного разрешения локальной неоднозначности в направлении векторов на магнитограммах, независимый от положения анализируемой области на солнечном диске. Знак направления поперечной компоненты поля в данной точке определяется таким образом, чтобы отклонение вектора было минимальным по сравнению с расчетами в поля в потенциальном приближении. Разработанный алгоритм проверен как на примере известных моделей Меткалфа и др. (*Solar Phys.* 237, 267, 2006) и Леки и др. (*Solar Phys.* 260, 83, 2009 г.), так и на оригинальных моделях Руденко и др. (*Астрон. Реп.* 57, 622, 2013). Показано, что новый алгоритм более чем в четыре раза быстрее самых быстрых существующих кодов, обеспечивающих снятие неоднозначности с удовлетворительной точностью. Кроме того, разработанный код сохраняет высокую точность при анализе областей вблизи от края диска.

Rudenko, G. V.; Anfinogentov, S. A. *Very Fast and Accurate Azimuth Disambiguation of Vector Magnetograms*, *Solar Physics*, **289**, 149, 2014 (ИСЗФ)

Изучена бароклиная неустойчивость в лучистой зоне звезды с неоднородным по радиусу вращением. Неустойчивость появляется при малой неоднородности вращения с относительной величиной около 0.1%. Имеется два семейства неустойчивых возмущений, соответствующих волнам Россби и внутренним гравитационным волнам. Неустойчивость является динамической: время ее развития составляет несколько тысяч периодов вращения, но мало по сравнению со временем эволюции звезды. Неустойчивые возмущения обладают кинетической спиральностью. Возможна генерация магнитного поля возникающей в результате развития неустойчивости турбулентностью. Такое «бароклинное динамо» может иметь отношение к происхождению реликтовых магнитных полей Солнца и звезд.

Kitchatinov, Leonid L. Baroclinic Instability in Stellar Radiation Zones, Astrophysical Journal, 784, Issue 1, article id. 81, 9 pp. ,2014 (ИСЗФ)

Проведены совместные расчеты дифференциального вращения и динамо для ряда эволюционных состояний Солнца, отличающихся по скорости вращения. Обнаружено, что амплитуда генерируемого тороидального потока растет с увеличением скорости вращения, что позволяет интерпретировать наблюдаемое повышенное излучение от быстро вращающихся звезд в рентгеновском диапазоне и в линиях CaII/K. В рамках модели также объясняется насыщение этого излучения при больших скоростях вращения. Трудностью модели является обратная к данным наблюдений зависимость длительности циклов активности от скорости вращения. Обсуждаются возможности по преодолению этого противоречия.

Karak B. B., Kitchatinov L. L., Choudhuri A.R. A Dynamo Model of Magnetic Activity in Solar-like Stars with Different Rotational Velocities, ApJ, 791, Issue 1, article id. 59, 12 pp., 2014 (ИСЗФ)

Изучена динамика распространяющихся 3-мин волновых фронтов в атмосфере пятен. Обнаружено возникновение источников колебаний в виде спирали при усилении волновой активности. Наблюдаемая спиральность характерна для всех высот атмосферы над пятном. Показано, что форма источника является комбинацией пространственно разнесенных деталей, связанных с колебаниями с различным периодом. Сделан вывод о влиянии локальной зависимости наклона магнитного поля от полярного угла на формирование пространственной структуры волновых фронтов.

Sych R., Nakariakov V. M. Wave dynamics in a sunspot umbra, A &A, 569, id.A72, 8 pp 2014 (ИСЗФ, ГАО)

Изучены пространственно-временные характеристики колебаний в окрестности головного пятна активной области NOAA 11131 8-го декабря 2010 г. Сделан вывод, что колебания могут интерпретироваться как медленные магнитозвуковые волны, распространяющиеся в стратифицированной среде вдоль наклоненного магнитного поля. Показано, что источники высокочастотных колебаний до 3 мин локализованы в тени пятна. Низкочастотные колебания образуют расширяющиеся кольцеобразные структуры вплоть до границы полутени. Наблюдаемые частоты обрезания позволили вычислить наклон магнитного поля. Первые измерения дали оценки углов на 30-40% выше ожидаемых из расчетов поля в потенциальном приближении. Предложены причины расхождений.

Yuan D., Sych R., Reznikova V. E., Nakariakov V. M. Multi-height observations of magnetoacoustic cut-off frequency in a sunspot atmosphere A&A, 561, id.A19, 6 pp., 2014 (ИСЗФ, ГАО)

Изучены характеристики изгибных колебаний спокойной корональной петли в различных линиях вакуумного ультрафиолетового излучения, зарегистрированных на КА SDO/AIA. Показано, что из различий в расположении областей колебаний в диапазоне 3 – 15 минут в различных диапазонах излучений следует, что петля состоит из прядей с различной температурой плазмы. Иррегулярность наблюдаемых колебаний предполагает стохастичность воздействий в основании петли, приводящих к их возбуждению.

Nisticò, G.; Anfinogentov, S.; Nakariakov, V. M. Dynamics of a multi-thermal loop in the solar corona. A&A, 570, id.A84, 8 pp. 2014 (ИСЗФ, ГАО)

Рассмотрена динамика продольных волн в корональных перьевых структурах с учетом диссипации, нелинейности, магнитной природы волн и волноводного характера их распространения. Выведено эволюционное уравнение типа Бюргерса, описывающее распространение слабонелинейных медленных магнитозвуковых волн в однородных

тонких магнитоплазменных трубках. Получена оценка времени появления ударного фронта в профиле трубочной волны, а также увеличенного, по сравнению со звуковыми волнами, затухания трубочной волны. Оба эффекта существенны в случае, когда плазменный параметр β порядка и больше единицы; напротив, при малом давлении плазмы трубочная волна эволюционирует как звуковая. Таким образом, для анализа продольных волн в нижней части корональных перьев и в магнитных веерных структурах с температурой плазмы ~ 1 МК могут использоваться модели, развитые для слабонелинейных звуковых волн. С другой стороны, выявленные эффекты важны для анализа эволюции продольных волн в горячих вспышечных петлях, магнитных веерных структурах, заполненных горячей плотной плазмой (> 6 МК), а также в областях корональных перьев, где β порядка единицы (выше в короне).

Afanasyev A.N., Nakariakov V.M. Nonlinear slow magnetoacoustic waves in coronal plasma structures. *Astronomy and Astrophysics*. 2014, DOI 10.1051/0004-6361/201424516. (ИСЗФ, ГАО)

Важнейшие результаты Файнштейна В.Г.

1. Для нескольких быстрых КВМ типа гало и связанных с ними ударных волн с использованием "Ice cream cone" модели КВМ (Xue et al., J.G.R., 2005, 110, 8103) по данным LASCO определены 3D кинематические и геометрические характеристики тела КВМ и ударной волны на различных расстояниях R от центра Солнца. Показано, что радиальные распределения скорости тела КВМ $V_b(R)$ и ударной волны $V_{sh}(R)$ различаются. Найдены зависимости $\Delta R(R) = R_{sh} - R_b$ и $\Delta V(R) = V_{sh}(R) - V_b(R)$. В среднем для рассмотренных событий с ростом R разность ΔR увеличивается. Для всех рассмотренных событий угловые размеры тела КВМ оказались меньше угловых размеров связанной ударной волны. Были построены зависимости параметра $\Delta R/r_b(R)$, где ΔR - расстояние между ударной волной и границей тела КВМ на оси выброса массы, r_b - радиус кривизны границы тела КВМ на его оси. Оказалось, что этот параметр с ростом R уменьшается. Полученная зависимость была сопоставлена с зависимостью $\Delta R/r_b(Ma(R))$. Здесь Ma - альфвеновское число Маха. Связь $\Delta R/r_b(R)$ с Ma была получена Russell and Mulligan (2002) для поршневых ударных волн на орбите Земли. Сравнение $\Delta R/r_b(R)$ полученных двумя способами, позволяет сделать вывод, что, по крайней мере, на расстоянии $R > 10R_o$ (R_o - радиус Солнца) ударные волны, связанные с телом КВМ, являются поршневыми с телом КВМ в качестве поршня. (Файнштейн В.Г., Егоров Я.И.)

2. По данным инструментов SDO/HMI и SDO/AIA для 24-го солнечного цикла сопоставлены магнитные свойства магнитно-связанных ведущих и замыкающих солнечных пятен и свойства солнечной атмосферы над ними. Установлено, что в $\sim 84\%$ рассмотренных пар пятен минимальный угол между силовыми линиями поля из тени пятен и нормалью к поверхности Солнца в месте измерения поля меньше в ведущих пятнах по сравнению с замыкающими. Впервые построены и сопоставлены зависимости максимального и среднего значения магнитной индукции в тени пятна от

площади тени отдельно для ведущих и замыкающих магнитно-связанных пятен. Исследована динамика магнитных свойств пары ведущее - замыкающее пятно при их прохождении по диску Солнца. Показано, что контраст в линии He II 304 (C_{304}) над тенью ведущих и одиночных пятен в среднем меньше, чем над тенью замыкающих пятен, и для обоих типов пятен C_{304} в среднем слабо зависит от площади тени. Обнаружено, что с уменьшением минимального угла в тени пятна контраст C_{304} в среднем возрастает как для ведущих, так и для замыкающих пятен. (Загайнова Ю.С. (ИЗМИРАН), Файнштейн В.Г. (ИСЗФ), Обридко В.Н. (ИЗМИРАН))

ИЗМИРАН

1. На основе 16-моментных МГД-уравнений, которые учитывают тепловые потоки в анизотропной бесстолкновительной плазме солнечной короны и солнечного ветра, рассмотрены свойства неустойчивостей. Установлено, что в зависимости от параметров плазмы в МГД-приближении могут возникать следующие неустойчивости - обычная несжимаемая шланговая неустойчивость, вторая сжимаемая почти продольная шланговая и почти поперечная зеркальная неустойчивость замедленных магнитозвуковых мод, а также тепловая (потоковая) неустойчивость, вызванная тепловым потоком (потоком частиц) вдоль магнитного поля. Рассмотрены аналоги этих неустойчивостей в кинетическом приближении и проведено сравнение МГД и кинетических порогов и инкрементов неустойчивостей, которое дало хорошее согласие МГД результатов с кинетическими. Это обосновывает корректность использования 16-моментных МГД уравнений для описания динамики бесстолкновительной плазмы солнечной короны и солнечного ветра и ее макроскопических свойств.

Kuznetsov, V. D. and N. S. Dzhalilov: MHD Instabilities of Collisionless Space Plasma with Heat Fluxes // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2014, Vol. 54, No. 7.

2. Показано, что существенное влияние на флуктуации яркости оказывают изменения прозрачности фотосферы, которые, в свою очередь, определяются флуктуациями как температуры плазмы так и ее плотности. Это явление называется каппа-эффектом. Каппа-эффект может увеличивать время релаксации температурных возмущений в фотосфере благодаря тому, что часть энергии лучистого потока, проходящего через фотосферу, переходит в энергию колебаний.

Разработана новая методика решения обратной задачи на основе данных наблюдений флуктуаций яркости Солнца. Разработанный алгоритм применен к данным полученным в результате проведенного эксперимента ДИФОС на российском спутнике КОРОНАС. Показано, что из-за наличия каппа-эффекта в фотосфере Солнца возникают температурные волны, которые в конечном счете и ответственны за флуктуации яркости Солнца. В частности, температурные волны возникают под действием собственных колебаний Солнца. Кроме того, температурные волны ответственны за релаксацию температурных возмущений в фотосфере.

A. Prokhorov, Y.D. Zhugzhda, S. Berdyugina / Brightness fluctuations of the Sun and p-mode oscillations: The inverse problem and nonadiabatic waves in the photosphere *Astron.Nachr. /AN* v.335, No. 2, 150 – 160 (2014) / DOI 10.1002/asna.201211953

Ю. Д. Жугжда, Р. А. Сыч // МОДЕЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В СОЛНЕЧНЫХ ПЯТНАХ, *ПИСЬМА В АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ*, 2014, том 40, №9, с. 638–656 (*Astronomy Letters*, 2014, Vol. 40, No. 9, pp. 576–593).

3. Продолжен анализ пятнообразовательной деятельности для малых ($S < 100$ м.д.п.), средних ($100 < S < 500$ м.д.п.) и больших ($S > 500$ м.д.п.) групп пятен. Использовался Гринвичский каталог и его продолжение NOAA—USEF. Получено, что соотношение числа групп разной площади изменяется со временем. Это соотношение в наибольшей степени определяется многочисленными группами малой площади. В течение почти 150 лет наблюдались периоды, когда увеличивалось относительное число больших групп и обширные периоды, когда возрастало число малых групп. Периоды возрастания числа малых групп соответствуют, как правило, низким циклам активности. Наблюдаемые соотношения указывают на то, что в пятнообразовательной деятельности Солнца возможно взаимодействуют два независимых механизма. Глубинное динамо контролирует вариацию числа малых пятен, а формирование больших пятен определяется уже процессами в подповерхностных слоях (*О.Г. Бадалян, В.Н. Обридко*).
4. Исследован характер связи корональных выбросов массы (КВМ) с соответствующими рентгеновскими вспышками в течение 23-го и начала 24-го солнечного цикла (1996-2013 гг.). Показано, что одним и тем же значениям рентгеновского балла вспышки на фазе спада 11-летнего солнечного цикла соответствуют большие значения скорости и энергии КВМ, чем на фазе роста. Это свидетельствует о том, что в минимуме и на фазе роста 11-летнего солнечного цикла большая часть КВМ по-видимому связана с отдельными активными областями, в то время как в максимуме и на фазе спада энергия КВМ определяется в значительной степени уже комплексами активных областей.

Е.В. Иванов. Об изменении характера связи корональных выбросов массы с соответствующими рентгеновскими вспышками в течение 11-летнего цикла солнечной активности. Труды ежегодной всероссийской конференции по физике Солнца "Солнечная и солнечно-земная физика - 2014", 2014, СПб (в печати).

5. По данным с высоким пространственным разрешением инструментов SDO/HMI и SDO/AIA для фазы роста и максимума 24-го солнечного цикла сопоставлены магнитные свойства ведущих и замыкающих солнечных пятен. Изучены свойства солнечной атмосферы над пятнами отдельно для каждого из этих двух типов пятен. Получено, что контраст в линии He II 304 (C_{304}) над тенью ведущих и одиночных пятен в среднем меньше, чем над тенью замыкающих пятен, и для обоих типов пятен C_{304} в среднем слабо зависит от площади тени пятна. Установлено, что в ~84% рассмотренных магнитно-связанных пар пятен «ведущее-замыкающее» минимальный угол между направлением поля и положительной нормалью к поверхности Солнца в месте измерения поля меньше в ведущих пятнах по сравнению с замыкающими.

Zagainova, Yu. S.; Fainshtein, V. G.; Obridko, V. N. Comparative Characteristics of the Leading and Following Sunspots *Astronomicheskii Tsirkulyar*, 2014, vol.1612, p. 1-4

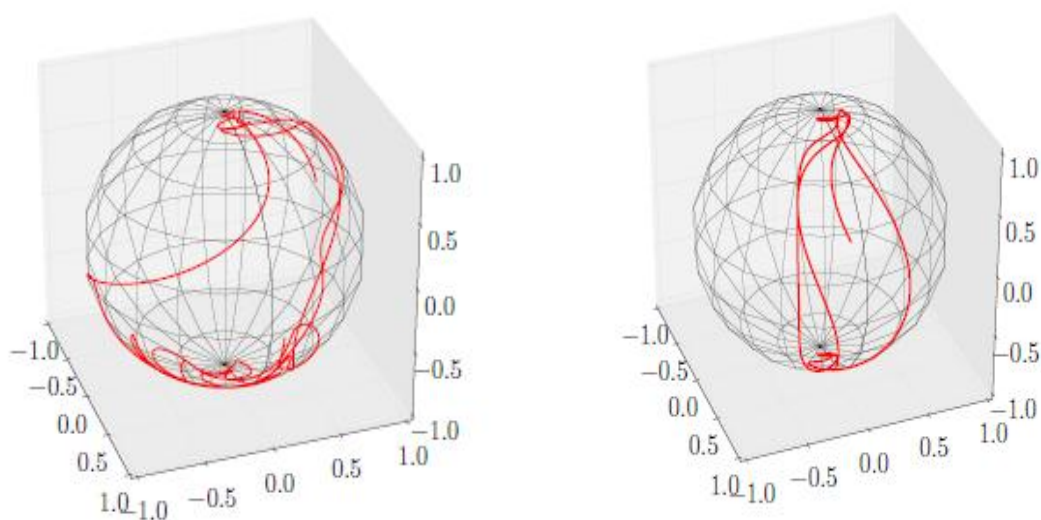
Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В., Обридко В.Н. Сравнительный анализ свойств магнитного поля в ведущих и замыкающих солнечных пятнах. *Астрономический журнал*, Т. 91, N 12, с.1-10, 2014.

6. Совместно с японскими исследователями (Сакураи и Оцудзи) получены статистические средние расчетов токовой спиральности и закрученности

магнитного поля в активных областях Солнца по данным космического аппарата Хиноде за период 2018-2012 гг. на телескопе сверхвысокого разрешения (до 120 км на пиксель). Выделены уровни величины амплитуды магнитного поля, которые по-разному вносят вклад в усредненное значение спиральности. Показано, что на масштабах меньше уровня грануляции свойства спиральности отличаются от крупномасштабных свойств, ранее полученных в наземных наблюдениях

Otsuji, K.; Sakurai, T.; Kuzanyan, K. "Statistical Analysis of Current Helicity and Twist in Solar Active Regions over the Phases of the Solar Cycle Using the Spectro-Polarimeter Data of Hinode" // PASJ, in press (2014)

7. На основе простейших динамо моделей описана процедура переполюсовки глобального магнитного поля. Оказалось, что по мере приближения ко времени смены ориентации поля ориентация магнитной оси глобального диполя становится довольно случайной, так что в период смены ориентации этот магнит естественно рассматривать как сравнительно долгоживущую флуктуацию. По мере удаления от момента смены ориентации роль флуктуационного поведения падает. Подобное поведение обнаружено как в наблюдательных данных, так и в поведении теоретических моделей магнитного поля. На рисунке показано сопоставление наблюдений (слева) и теории (справа). В обоих случаях направление магнитного момента вблизи инверсии меняется хаотично, хотя, конечно, каждый раз немного по-разному.



V. V. Pipin, D. Moss, D. Sokoloff, J. T. Hoeksema Reversals of the solar magnetic dipole in the light of observational data and simple dynamo models, *A&A* 567, A90, 8 pages, 2014.

8. На основе изучения процессов на маломассивных звёздах определен возраст 1 – 2 млрд лет, когда регулярный цикл на Солнце только сформировался; изучены

характеристики активности такого молодого Солнца – запятненность фотосферы, физические условия в хромосфере и короне, а также темп потери массы и частота появления супервспышек. Получено также, что циклы в ту эпоху были на несколько лет короче по сравнению с современным 11-летним циклом. Новые знания в этом направлении существенны для выяснения роли космических факторов эволюции биосферы и понимания условий в атмосферах экзопланет.

Кацова М.М., Лившиц М.А. «Активность молодого Солнца» «Космические факторы эволюции биосферы и геосферы», СПб: "Издательство ВВМ", 2014, С.67–80.

Katsova M.M., Livshits M.A. "Activity of the Sun in the age of 1–2 Gyr" *Geomagnetism and Aeronomy*, 2014, V. 54, No8, 982–990 DOI: 10.1134/S0016793214080088

9. По наблюдениям космических обсерваторий с трех углов зрения изучено эруптивное явление с пересоединением одного из оснований магнитного жгута с областью, удаленной на расстояние порядка солнечного радиуса от первоначального положения. Расчеты коронального магнитного поля показали, эрупция началась не как обычно с развитием вертикальной неустойчивости, а с нарушения горизонтальной устойчивости. Такой сценарий развития эруптивного явления наблюдался впервые и никогда не учитывался в оценке вероятности эрупций.

Filippov B., A filament eruption with an apparent reshuffle of endpoints, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 442, 2892-2900, 2014.

10. Проведен анализ архивных данных по наблюдениям комет в эпоху Маундеровского минимума (1645-1715 гг.). Показано, что, несмотря на вероятное отсутствие солнечной короны в этот период, солнечный ветер определенно существовал.

Гуляев Р.А. Солнечный ветер в эпоху Маундеровского минимума. *Астрон. журн.*, 2015, в печати.

11. Предложена новая концепция формирования и существования протуберанца в результате дрейфовых движений хромосферной и корональной плазмы, которая уплотняется на нейтральной поверхности. Это плотное образование представляет собой динамическую мультитемпературную (от фотосферных до корональных значений) структуру. Структура может уплотниться до 10^{11} см^{-3} ; в ней возникает ток "незамагниченных" протонов. Перечисленные особенности сформированной структуры являются характерными для протуберанца.

Merzlyakov V.L. Solar Prominence Dynamic Model. *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 54, No. 7 (дополнительный выпуск на английском языке), 2014.

12. Найдены параметры источника магнитного поля солнечной активной области с протуберанцем. Установлено, что в периоды спокойного развития активной области доминирует октупольная гармоника до высот более 0.1 R_s (радиуса Солнца). При этом её компонента, перпендикулярная магнитному моменту активной области, составляет не менее 50% относительно октупольной компоненты, ориентированной вдоль этого магнитного момента. На стадии

эрупции протуберанца происходит резкое возрастание дипольной магнитной гармоник относительно октупольной. И влияние последней уменьшается до высот $0.03 R_s$. В рамках предложенного сценария эрупции волокна находят объяснение наблюдаемое малое изменение магнитного потока активной области, которое по оценкам не превышает 10%.

Мерзляков В.Л. Магнитный источник активной области с протуберанцем. Труды конференции "Солнечная и солнечно-земная физика – 2014", ГАО РАН, СПб, 2014.

13. Продолжалась разработка новой топологической модели для источника ускоренных частиц (магнитная ловушка – «пробкотрон») для описания и интерпретации особенностей гамма-излучения в некоторых солнечных событиях.

В 2012-2013 гг. авторами (Г.Н. Кичигин, Л.И. Мирошниченко, В.И. Сидоров, С.А. Язев) была предложена модель для описания движения захваченных ионов, ускоренных до энергий $\sim 10 \div 100$ МэВ/нуклон в электрическом поле $\sim 0.01 \div 0.1$ В/см. Поле имеет ненулевую составляющую вдоль магнитного поля в корональных арках с характерным размером ~ 100 тыс. км. Результаты моделирования использованы для интерпретации свойств источников гамма-излучения от мощной вспышки 14 июля 2000 г. По предварительным оценкам, гамма-источник в линиях возбуждения ($\sim 4.1 \div 6.7$ МэВ) находился над пятном, а источник в линии захвата нейтронов (2.223 МэВ) совпадал с областью наблюдавшегося выпадения ускоренных ионов в плотные слои солнечной атмосферы в пятне, где в это время наблюдалось кратковременное падение фотосферного магнитного поля на величину порядка 100 Гс. Впервые высказана и обоснована идея о том, что локальное уменьшение магнитного поля происходит за счет диамагнитного эффекта, который создаётся ускоренными ионами в магнитной пробке коронального жгута над пятном.

Г.Н. Кичигин, Л.И. Мирошниченко, В.И. Сидоров, С.А. Язев. Диамагнитное уменьшение магнитного поля над пятном в солнечной гамма-вспышке 14 июля 2000 г. – *Физика плазмы*, 2014. Принято к печати..

14. Проанализировано загадочное событие 18-20 ноября 2003 г., в котором довольно незначительная солнечная эрупция в юго-восточной активной области 10501, сопровождавшаяся весьма умеренными вспышечными эпизодами и средними по размерам и скоростям корональными выбросами, вызвала самую интенсивную геомагнитную бурю 23-его цикла с $Dst = -422$ нТл. На основе разнообразных данных проведен детальный анализ особенностей самой эрупции и ее межпланетных проявлений. В результате сложилась следующая новая интерпретация данного события.

Сочетание сильнейшей бури со сравнительно небольшим Форбуш-понижением ($\approx 4.7\%$), характеристики анизотропии космических лучей, изображения межпланетного транзиента, данные прямых плазменных измерений,

показывают, что в возмущение пришло к Земле в виде магнитного облака малых пространственных размеров. Отсюда следует, что в процессе распространения от Солнца до Земли облако расширялось необычно слабо, и, как результат, сохранило высокую напряженность внутреннего магнитного поля $B \approx 56$ нТл. Дополнительными благоприятными факторами для возникновения супербури явилось то, что облако ударило точно по центру фронтальной части земной магнитосферой, и почти все сильное поле в облаке было ориентировано как южная B_z -компонента. Представлены аргументы в пользу того, что в данном случае межпланетное облако имело структуру сферомака, оторванного от Солнца. Образование и эрупция сферомака с наблюдаемой правой спиральностью связывается с бифуркацией эруптировавшего волокна при его столкновении с пикулярной корональной структурой в виде седловидной конфигурации вблизи центра диска. Результатом такой бифуркации явилась также трансформация волокна в крупномасштабное Y-образное плазменное образование, разлетающееся вдоль солнечной поверхности и наблюдавшееся на телескопе КОРОНАС-Ф/СПИРИТ в канале $304 \text{ \AA}$ в виде крупномасштабного распространявшегося потемнения.

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.*, Volume 289, Issue 1, pp 289-318, 2014, doi: [10.1007/s11207-013-0316-6](https://doi.org/10.1007/s11207-013-0316-6). <http://arxiv.org/pdf/1304.7950v1.pdf>

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.*, Volume 289, Issue 4, pp 1279-1312, 2014, doi: [10.1007/s11207-013-0397-2](https://doi.org/10.1007/s11207-013-0397-2). <http://arxiv.org/pdf/1308.3010v1.pdf>

15. Продолжена разработка нового метода ранней диагностики геоэффективности солнечных эрупций по магнитному потоку диммингов и постэруптивных аркад. По материалам 23-его цикла определена зависимость между магнитным потоком диммингов и аркад на уровне фотосферы (Φ) и геомагнитным индексом A_p , характеризующим интенсивность нерекуррентных геомагнитных бурь. Показано, что при увеличении магнитного потока от десятков до $\Phi \approx 500$ (в единицах 10^{20} Мкс), интенсивность геомагнитных бурь, измеряемая 3-часовым A_p -индексом, возрастает в среднем от $A_p \approx 50$ до формально максимальной величины 400 (в единицах 2 нТл). Установленное соотношение свидетельствует о том, что физически реальная величина A_p -индекса не ограничена и в наиболее сильных геомагнитных бурях может существенно превышать формальный предел 400. Зависимость между эруптивным магнитным потоком и A_p -индексом позволяет оценить величину этого превышения в конкретных событиях. Результаты анализа еще раз свидетельствуют, что параметры нерекуррентных геомагнитных бурь (а также Форбуш понижений интенсивности галактических космических лучей), вызываемых корональными/межпланетными выбросами (CMEs/ICMEs) в значительной мере определяются энергетикой и пространственными размерами солнечных эрупций, несмотря на многие другие факторы, влияющие на распространение межпланетных транзитов от Солнца до Земли.

Chertok I.M., Abunina M.A., Abunin A.A., Belov A.V., Grechnev, V.V. Relationship between the Magnetic Flux of Solar Eruptions and the Ap index of Geomagnetic Storms. *Solar Phys.*, accepted, 2014.

16. На примере лимбового явления 24 февраля 2011 г. показано, что появление структуры типа зебра в диапазоне 2.6 – 3.8 ГГц совпало с магнитным пересоединением в короне с X-точкой на высотах ~40000 км, наблюдавшемся в линии 171 Å на SDO/AIA. Такой эффект обнаружен впервые. Показано также, что на высотах метрового диапазона магнитная ловушка не сформировалась, с чем связывается отсутствие ЗС на спектрах ИЗМИРАН в диапазоне 25 – 270 МГц. В других явлениях обнаружены новые эффекты. В явлении 15 февраля 2011 г. удалось проследить появление ЗС в широком диапазоне частот от 7000 до 190 МГц, а сравнение с выбросами в линии 171 Å SDO/AIA позволяет определить во всех случаях обыкновенную моду волны. В явлении 9 августа сверхтонкая миллисекундная структура впервые зарегистрирована одновременно в быстрых пульсациях и наложенных на них полосах ЗС. Проведено сравнение моделей ЗС в свете новых данных. Реальная значимость ряда новых моделей ЗС требует дальнейших исследований.

Chernov, G.P., Fomichev, V.V., Tan B.L., Yan, Y.H, Tan Ch.M., Fu. Q.J.: Dynamics of flare processes and variety of the fine structure of solar radio emission over a wide frequency range of 30 - 7000 MHz, 2014, *Solar Physics*, 289, 11, 1-25.

Gennady Chernov, Valery Fomichev, Baolin Tan, Yihua Yan, Chengming Tan, Qijun Fu, Marian Karlicky, Robert Sych, Dynamics of flare processes and polarization variety of the fine structure of solar radio emission in the event April 11, 2013, *Ap.J.* (in press)

17. Изучение источников солнечных протонных событий показало, что солнечные вспышечные события, ответственные за потоки солнечных протонов ≥ 1000 протонов/см²·с·стер, осуществляются в большинстве случаев в комплексах активных областей (КАО) – переходной структуре пятнообразовательной активности между активной областью и комплексами активностей. Из 42 солнечных протонных событий с потоком протонов (10^4 и 10^3 протонов/см²·с·стер в дальнейшем pfu.) за последние 4 солнечных цикла (1976 – 2014 г.), было отобрано 21 СПС с потоком протонов в максимуме больше $2 \cdot 10^3$ p.f.u., вызванных вспышками с рентгеновским баллом $X \leq 6$. Выборка таких СПС показала, что 19 событий осуществились в КАО. Рассмотрены различные классы подобных структур, их связь СПС и эволюция в зависимости от условий возникновения. Было доказано, что очень большие группы солнечных пятен можно рассматривать как КАО, компоненты которых, последовательно всплывая в ограниченном пространстве, обеспечивают высокую вспышечную активность всё время прохождения такой группы пятен по видимому диску Солнца. Анализ вспышечных последовательностей в КАО привело к открытию «физических» границ, разделяющих магнитные структуры одной полярности и определяющих независимое развитие каждой из них. Проведено предварительное исследование больших солнечных протонных событий января, января 2014 г. Подтверждён вывод о том, что экстремальные и большие СПС происходят только от вспышек, осуществляющихся в КАО.

Логачёв Ю.И., Г.А. Базилевская, Э.В. Вашенюк, Е.И. Дайбог, В.Н. Ишков, Л.Л. Лазутин, Л.И. Мирошниченко, М.Н. Назарова, И.Е. Петренко, А.Г. Ступишин, Г.М. Сурова, О.С. Яковчук, / Сравнение протонной активности в 20 – 23-м солнечных циклах. Принята в печать: Геомагнетизм и аэрономия, 2015, №2.

18. Показано влияние процесса динамики (слияния и сжатия) магнитных островов в солнечном ветре на ускорение частиц. Средне- и мелкомасштабные магнитные острова (с характерным размером <0.1 а.е.) могут возникать в солнечном ветре результате турбулентности и нестационарных процессов, таких как неустойчивости и магнитное пересоединение. В результате их динамики и локального магнитного пересоединения возникает дополнительное электрическое поле, перманентно ускоряющее частицы, что находит отражение в динамическом спектре частиц. Это явление теоретически изучено в (Zank et al., ApJ, 2014). Продemonстрировано предполагаемое изменение наклона спектра в ближней гелиосфере, зависящее от Альфвеновского числа Маха, изменяющегося с расстоянием и солнечным циклом (Zank et al., ApJ, 2014). По мульти-спутниковым наблюдениям на орбите Земли показано, что обсуждаемый механизм способен локально ускорить частицы до энергий порядка кэМ-МэВ при наличии специфических замкнутых конфигураций в солнечном ветре, наблюдаемых, в частности, вблизи гелиосферного токового слоя.

Khabarova O., Zank G.P., Li G., le Roux J.A., Webb G.M., and Dosch A.. Small-scale magnetic islands in the solar wind and their role in particle acceleration. Part 1: Dynamics of magnetic islands near the heliospheric current sheet. *Astrophysical Journal*, submitted, 2014

19. Обсуждается локальное ускорение частиц магнитным пересоединением в окрестности токовых слоев, локализованных в различных областях гелиосферы. В частности, показано локальное ускорение частиц до кэМ-МэВ вблизи гелиосферного токового слоя при отсутствии других источников. Продemonстрировано влияние пересоединения на токовых слоях внутри турбулентной зоны СМЕ, идущей вслед за ударной волной, на общую динамику и ускорение частиц в результате распространения выбросов корональных масс.

Zharkova V. & Khabarova O. , Re-acceleration of solar wind particles in current sheets of the heliosphere. *AnnGeo*, 2014, submitted, 2014

20. Проанализировано распространение высокоскоростных потоков солнечного ветра как спорадической природы (ICME), так и связанных с высокоширотными корональными дырами. Обсуждается развитие множественных неустойчивостей вблизи границы потоков с широм скорости и магнитного поля. Особое внимание уделено неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, а также неустойчивостям, возникающим в солнечном ветре при наличии тепловых потоков вдоль магнитного поля, связанных с продольными и поперечными тепловыми движениями ионов

Khabarova Olga, Kuznetsov Vladimir, Obridko Vladimir, Li Wenya. Evolution of high-speed streams and corresponding instabilities in the surrounding heliospheric plasma. Submitted to *JGR*, 2014

Лаборатории солнечной активности
Сектор коронально-гелиосферных исследований

1. Проведен анализ архивных материалов по наблюдениям комет в эпоху Маундеровского минимума (1645-1715 гг.). Показано, что, несмотря на вероятное отсутствие солнечной короны в этот период (о чем свидетельствуют наблюдения полных солнечных затмений) солнечный ветер определенно существовал. Это обстоятельство обостряет проблему происхождения солнечного ветра.

Р.А.Гуляев. Солнечный ветер в эпоху Маундеровского минимума.
Астрон. ж. (в печати).

2. Определены временная и долготная вариации источников крупномасштабного магнитного поля Солнца. В периоды от минимума солнечного цикла до фазы 0.3 мощность источников возрастает в 4 раза. Вариация этой мощности по долготе характеризуется максимумом и антиподальным ему минимумом. Найденная вариация интерпретируется как особенность генерации магнитного поля Солнца по долготе с преобладанием первой гармоники с различием напряженностей поля в пределах 30 - 100%. Показано, что между северной и южной полусферами существует синхронизация генерации с возможным отличием средних величин напряженностей поля менее 30%.

В.Л.Мерзляков, Л.И.Старкова. Долготная неоднородность генерации тороидального магнитного поля Солнца. Труды конференции "Солнечная и солнечно-земная физика -- 2014", ГАО РАН, СПб.

3. Найденны параметры источника магнитного поля солнечной активной области с протуберанцем. Установлено, что в периоды спокойного развития активной области доминирует октупольная гармоника до высот более 0.1 Rs (радиуса Солнца). При этом её компонента, перпендикулярная магнитному моменту активной области, составляет не менее 50% относительно октупольной компоненты, ориентированной вдоль этого магнитного момента. На стадии эрупции протуберанца происходит резкое возрастание дипольной магнитной гармоники относительно октупольной. И влияние последней уменьшается до высот 0.03 Rs. В рамках предложенного сценария эрупции волокна находит объяснение наблюдаемое малое изменение магнитного потока активной области, которое по нашим оценкам не превышает 10%.

В.Л.Мерзляков. Магнитный источник активной области с протуберанцем. Труды конференции "Солнечная и солнечно-земная физика -- 2014", ГАО РАН, СПб.

V.L.Merzlyakov. Solar Prominence Dynamic Model. Geomagnetism and Aeronomy, 2014, Vol. 54, No. 7.

САО РАН

Результат №1

Краткая формулировка: Измерение магнитных полей пятен на двух высотах в нижней короне Солнца

Развернутое изложение результата: По спектрально-поляризационным наблюдениям на РАТАН-600 в микроволновом диапазоне волн разработан

метод измерения магнитных полей пятен на двух высотах нижней короны на основе циклотронного механизма. Для этих целей используются детальные спектры поляризованного излучения обыкновенной моды и необыкновенной моды для локального источника над пятном. Регистрируются максимальные значения магнитных полей при проникновении их от слоев с хромосферными температурами в область корональных температур. При этом слои излучающие обыкновенную моду располагаются ниже слоев генерирующих необыкновенную моду.

Величины магнитных полей измеренных в микроволновом диапазоне в среднем ниже фотосферных значений на 20% для необыкновенной моды и на 10-15 % для обыкновенной моды. Сопоставление с данными фотосферных магнитных измерений дает возможность построения корректной модели магнитосферы над пятном. Подобные измерения требуют детального анализа спектра поляризации с частотным разрешением 1% и выполняются в регулярных обзорах диска Солнца только на РАТАН-600.

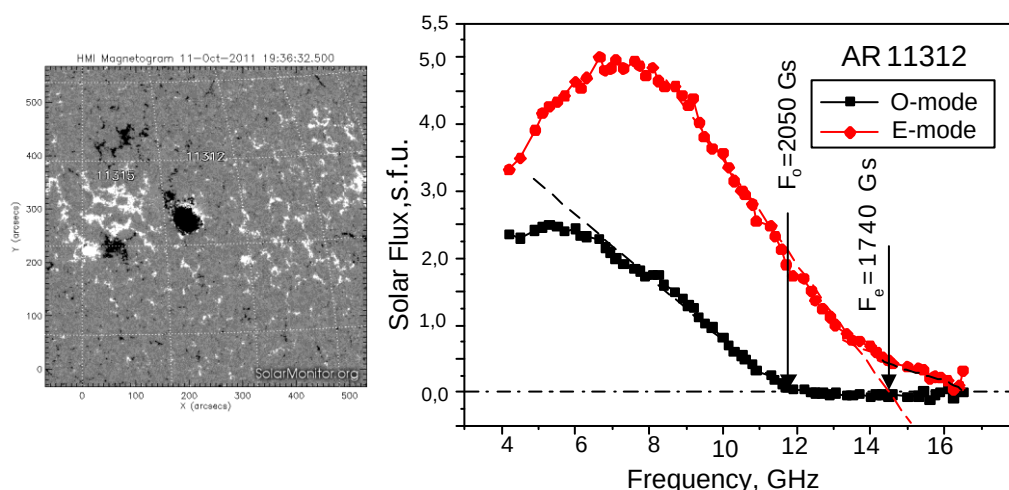


Рис. 1 Оценки величины магнитного поля сделаны по спектрам о- и е- мод. Фотосферное значение максимального магнитного поля в пятне в активной области AR11312 составило $H = 2300$ Гс. Площадь пятна 210 мдп. Величины корональных магнитных полей в микроволновом диапазоне: на уровне 3-го гироуровня соответствуют $H_{s=3} = 1740$ Гс, и на уровне 2 гироуровня $H_{s=2} = 2050$ Гс

Авторы: В.М.Богод, Н. Г. Петерова и др. Космические исследования, 2015, т.53, №1, стр 1-11.

Результат №2

Краткая формулировка: Развитие базы наблюдательных данных по многоволновым спектрально-поляризационным наблюдениям в широком микроволновом диапазоне.

Развернутое изложение результата: Проведен большой цикл многоволновых наблюдений (более 4000) в многоазимутальном режиме на РАТАН-600. Продолжалось формирование многоволновой базы данных

радиоастрономических наблюдений в диапазоне 3-18 ГГц. Проводилась диагностика критерия Танаки-Еноме и его модернизированных версий на успешность на основе созданной базы данных. Критерий удовлетворительно работает для мощных вспышек и протонных событий. Однако в связи с пониженной активностью 24 цикла проводился поиск адекватного критерия для прогноза вспышек с рентгеновским классом М (и С большого уровня). На сайте http://www.spbf.sao.ru/cgi-bin/ion-p?page=rat_search.ion диагностика критерия осуществляется в автоматическом режиме. Продолжается работа по созданию комплексного критерия, в котором учитываются данные фотосферных наблюдений, данные ультрафиолетовых и рентгеновских наблюдений. На сайте САО РАН <http://www.sao.ru/hq/sun/> ведутся регулярные измерения величины коронального магнитного поля для всех активных областей на диске, что уникально.

Публикации: 1. Bogod V.M., Kaltman T.I., Kurochkin E.A., Shendrik A.V., Tokhchukova S.Kh.. *Analysis of powerful flare events at the maximum of solar cycle 24 in a wide range of microwaves* Fifth Workshop Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere Nessebar, Bulgaria, 3-7 June 2013 (статья сдана в SUN and GEOSPHERE International Journal of Research and Applications, <http://www.sungeosphere.org>)

Результат №3

Краткая формулировка: Развитие метода измерения параметров атмосферы активной области на основе сопоставления модельных расчетов с многоволновыми наблюдениями на ПАТАН-600

Развернутое изложение результата: Проведено моделирование атмосферы активной области, которое сопоставлялось с многоволновыми наблюдениями на ПАТАН-600. Использовалась реконструкция нелинейного бессилового магнитного поля, восстановленное по фотосферным наблюдениям SDO/HMI; Рассчитывались различные модели солнечной атмосферы (температуры и концентрации электронов), в которых в широких пределах варьировались положение и толщина активной области, а также температура и концентрация в нижней короне. Рассчитанное радиоизлучение сравнивалось с наблюдениями на ПАТАН-600; выбирались параметры атмосферы, при которых расчетные сканы и спектры потоков в наибольшей степени соответствуют сканам ПАТАН-600. Результаты моделирования показали (см. рис.2), что:

1. Над активной областью переходная зона начинается на достаточно низких высотах (1200-1500 км) по сравнению со спокойным Солнцем (для которого нижняя граница переходной области 2200-3500 км).
2. Толщина переходной зоны 500-1300 км, т.е. температура возрастает достаточно плавно по сравнению с моделями атмосферы для спокойного Солнца.

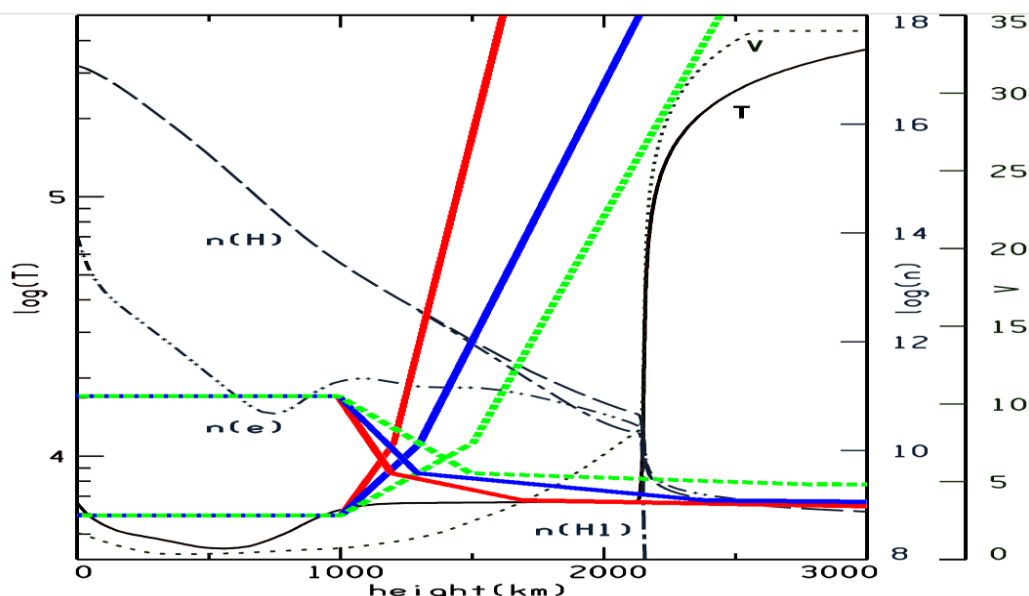


Рис.2. Моделирование трех АО. АО 11312 (красные линии)- переходная зона 1200-1700 км (толщина = 500 км), T нижней короны 10^6 К. АО 11899: (синие линии) - переходная зона 1300-2400 км (толщина = 1100 км), T нижней короны $1.7 \cdot 10^6$ К - АО 11289: (зеленые линии) переходная зона 1500-2800 км (толщина = 1300 км), T нижней короны $2.2 \cdot 10^6$ К.

Таким образом, с помощью моделирования и сопоставления с реальными наблюдениями подтверждено опускание короны над пятном. Величина опускания зависит от размера пятна и величины магнитного поля. Ширина переходной зоны хромосфера - корона имеет размеры от 500 км до 1000 км, что противоречит представлениям об узкой переходной зоне.

Публикации: Ступишин А.Г., Богод В.М., Яснoв Л.В. Определение параметров солнечной атмосферы над активной областью по наблюдениям радиоизлучения на радиотелескопе РАТАН-60 сб.тезисов конференции «Солнечная и солнечно-земная физика-2014» (20-24 октября 2014 года, Санкт-Петербург, ГАО РАН стр 95-96

Список публикаций вышедших из печати.

1. В.М. Богод, Н. Г. Петерова, Н. А. Топчило, Б.И.Рябов О РЕГИСТРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОНИЖЕННОЙ ЯРКОСТИ В ОБЛАСТИ СИЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН Космические исследования, 2015, т.53, №1, стр 1-11.
2. [Bogod, V. M.](#); [Alissandrakis, C. E.](#); [Kaltman, T. I.](#); [Tokhchukova, S. K.](#) RATAN-600 Observations of Small-Scale Structures with High Spectral Resolution [2014SoPh..tmp..65B](#)
3. Петерова Н.Г., Коржавин А.Н., Топчило Н.А. Кольцеобразный источник циклотронного излучения активной области NOAA11140 по наблюдениям с

- высоким разрешением 1 угл.сек., Изв.КрАО, 2013, т. 109, № 2, 83-84.
4. N.G.Peterova, N.A.Topchilo, L.V.Opeikina, B.V.Agalakov, T.P.Borisevich, B.I.Lubyshev. Anomalous Polarization Features of the Cyclotron Radiation Source in the NOAA 7123 Active Region: The Structure, Dynamics and Reasons of Occurrence. Geomagnetism and Aeronomy, 2013, vol.53, No.8, pp.1000-1006.
 5. Петерова Н.Г.¹, Опейкина Л.В.², Топчило Н.А.³ Об источниках типа «ГАЛО» по наблюдениям с высоким пространственным разрешением на микроволнах ISSN 0016_7932, Geomagnetism and Aeronomy, 2014, Vol. 54, No. 8, pp. 1053–1057. © Pleiades Publishing, Ltd., 2014.
 6. N.G. Peterova, N.A. Topchilo «CORONAL MAGNETIC FIELD IN THE TRANSITION REGION FROM THE CHROMOSPHERE TO CORONA ABOVE SUNSPOTS ON MICROWAVE OBSERVATIONS: POSSIBILITIES OF RESEARCHES AND PROBLEMS, Изв. КрАО, 2013, т. 109, № 3, 94-101.
 7. O.A. Golubchina, A.N. Korzhavin, : Comparative Analysis of the Distribution of Brightness Temperatures in the Solar Polar Region Based On Observational Data Obtained with RATAN-600 in the Microwave Range during the Solar Eclipse of March 29, 2006. Geomagnetism and Aeronomy, 2013, vol.53, No.8, pp. 1025-1029.
 8. В.Е. Абрамов-Максимов, В.Н. Боровик, Л.В. Опейкина, А.Г. Тлатов. Особенности развития активных областей на Солнце перед большими вспышками класса X: анализ данных радиотелескопа РАТАН-600 и космической обсерватории SDO. Космические исследования, 2014, том 52, № 1, с. 3-16.

Рук.темы,
vbog@sao.ru

д.ф.м.н. Богод В.М. СПб Ф САО РАН

НИРФИ

1. Впервые в радионаблюдениях солнечных вспышечных петель обнаружена смена знака степени поляризации вдоль вспышечной петли от оснований к вершине. Установлено, что в основаниях знак поляризации соответствует необыкновенной волне, а вершине – обыкновенной волне.

федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский радиофизический институт», ГАО РАН

Публикации:

1. Kuznetsov S.A., Morgachev A.S., Melnikov V.F., “Analysis of the polarization degree distribution along limb flaring loops of July 19, 2012” // 14th European Solar Physics Meeting Programme and abstract book, p. 40.

2.Kuznetsov, Sergey; Melnikov, Victor; Morgachev, Alexander Spatial distribution of microwave characteristics along limb flare loop July 19, 2012 // 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract D2.5-84-14.

2. Впервые по данным радиогелиографа Нобейма применен метод прямой подгонки для восстановления четырех параметров вспыхивающих петель (концентрации и показателя энергетического спектра нетепловых электронов, напряженности и направления линий магнитного поля) в событии 19 июля 2012. На основании результатов восстановления предложена интерпретация наблюдаемого изменения степени поляризации вдоль петель, связанная с реализацией во вспышке анизотропии нетепловых электронов.

федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский радиофизический институт», ГАО РАН

АННОТАЦИЯ

Цель исследования заключалась в диагностике параметров солнечных вспыхивающих петель в событии 19 июля 2012 для интерпретации наблюдаемой пространственной и временной инверсии степени поляризации. Диагностика проводилась методом прямой подгонки теоретически рассчитанного гиротронного (ГС) радиоизлучения под наблюдаемое с применением генетического алгоритма. Для исследования использовались карты распределения радиояркостности на частотах 17 и 34 ГГц и степени круговой поляризации на частоте 17 ГГц, полученные по данным радиогелиографа Нобейма. Для расчета характеристик ГС излучения использовалась программа быстрого счета [1]. В ходе выполнения работы получены следующие результаты:

1) Успешно проведено восстановление четырех параметров петли (концентрации и показателя энергетического спектра нетепловых электронов, напряженности и направления линий магнитного поля) для ее оснований (рис.1) в предположении изотропного и анизотропногоpitch-углового распределений.

2) В вершине вспыхивающих петель восстановление удалось провести только в предположении анизотропногоpitch-углового распределения.

3) На основании результатов восстановления высказано предположение о том, что изменение степени поляризации во времени и вдоль вспыхивающей петли может быть объяснено наличием продольной питч-угловой анизотропии нетепловых электронов.

[1] Fleishman G.D., Kuznetsov A.A. – Fast gyrosynchrotron codes, *Astrophys. J.*, 2010, 1127-1141

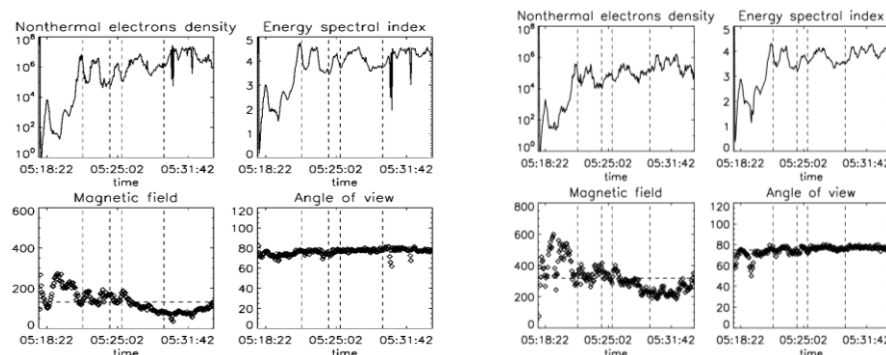


Рис. 1. Временные профили восстановленных значений концентрации нетепловых электронов, магнитного поля, показателя энергетического спектра и угла зрения для нижнего основания вспыхивающей петли в предположении изотропного (слева) и продольного (справа) питч-углового распределений.

Публикации:

1. A.S. Morgachev, S.A. Kuznetsov, and V.F. Melnikov «Radio Diagnostics of the Solar Flaring Loop Parameters by Direct Fitting Method» // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2014, Vol. 54, №7, pp.1-10

2. Моргачев А.С., Кузнецов С.А. Мельников В.Ф. «Инверсия поляризации микроволнового излучения и радиодиагностика параметров вспыхивающей петли» // Труды всероссийской конференции «Солнечная и солнечно-земная физика – 2013», ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2013, стр. 157-160.

3. Morgachev, Alexander; Melnikov, Victor; Kuznetsov, Sergey «Recovering of flare loop parameters from microwave and hard X-Ray characteristics of a flare loop» // 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract D2.5-52-14.

4. Моргачев А. С., Мельников В.Ф., «Анизотропия ускоренных электронов во вспыхивающей петле как причина инверсии поляризации микроволнового излучения» // Сборник тезисов девятой ежегодной конференции «Физика плазмы в солнечной системе», ИКИ РАН, Москва, 2014, стр. 29.

3. Показано по результатам статистического исследования 277 уединенных корональных выбросов массы (КВМ) за 2013 год, что наиболее развитым потенциально геоэффективным КВМ типа гало и частичное гало на часовом интервале перед регистрацией на коронографе предшествует микроволновое спорадическое излучение – широкополосные, продолжительностью более 10 минут радиопредвестники КВМ

Это позволяет дать оценку прогноза геоэффективности КВМ по данным о радиоизлучении с учетом ожидаемого положения источника КВМ на солнечном диске.

федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский радиофизический институт»

Аннотация

Анализ микроволнового излучения, формируемого в нижних слоях солнечной атмосферы, является эффективным методом исследования образования и начального распространения КВМ, поскольку процессы, происходящие на этих стадиях развития КВМ, проявляются именно в переходном слое солнечной атмосферы – хромосфере и нижней короне, где и генерируется радиоизлучение сантиметрового и дециметрового диапазонов.

Для анализа выбирались уединенные корональные выбросы масс, т.е. такие, которые удовлетворяют условию, что ближайший по времени предыдущий корональный выброс масс был зарегистрирован по крайней мере за 8 часов до рассматриваемого события. Это позволяет использовать данные радиоизлучения Солнца, получаемые на станциях Мировой сети Службы Солнца в радиодиапазоне, не обладающих пространственным разрешением. При этом особенности спорадической компоненты радиоизлучения могут быть связаны с явлениями формирования и начального распространения КВМ в атмосфере Солнца.

В 2013 году, близком к максимуму 11-летнего цикла солнечной активности, таких событий наблюдалось 277. Для более тщательного анализа из приведенного массива данных были выбраны КВМ типа гало и частичное гало – всего 70 КВМ. Проведено сопоставление характеристик радиоизлучения с положением источника КВМ на диске Солнца по данным о координатах активных областей и рентгеновских всплесков.

Получено:

- спорадическое радиоизлучение предшествует 21 событию КВМ на видимой стороне диска Солнца,
- предшествующее спорадическое радиоизлучение не обнаружено для 46 событий КВМ на обратной стороне диска Солнца,
- события КВМ на видимой стороне диска Солнца, для которых не обнаружено предшествующее спорадическое излучение, составили 3 события. Из них 2 события произошли на краю диска Солнца, где наблюдается ослабление радиоизлучения, и 1 событие – чрезвычайно слабое (Very Poor Event), согласно Каталогу КВМ.

Рисунок иллюстрирует существование радио предвестников для КВМ типа гало 17 мая 2013 года, 09:12:10. Широкополосное спорадическое радиоизлучение наблюдается в большей части исследуемого диапазона – от 1400 МГц до 150 МГц в течение, по крайней мере, 30 минут до регистрации КВМ на LASCO/C2.

Литература.

1 Olga Sheiner, Vladimir Fridman A set of phenomena in the solar radioemission prior to the powerful energy release (flares and Coronal Mass Ejections) // The 40th COSPAR Scientific Assembly, Moscow, 2-10 August 2014. Abstract AD2.5-0060-14.

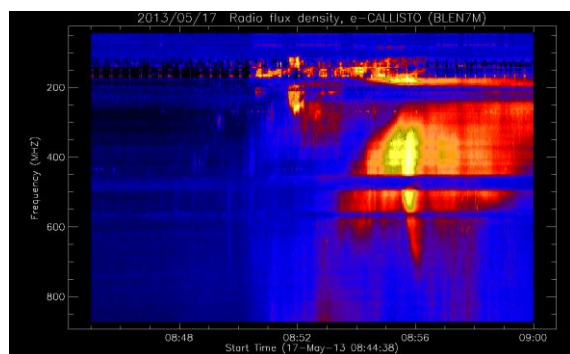
2. Sheiner O., Fridman V. An experimental bases for the creation of radioastronomical method of short-term Coronal Mass Ejections forecasting // 11th European Space Weather Week, November 17 - 21, 2014. Liege, Belgium. Final Programme & Abstract Book.

4. Подтверждено обнаруженное ранее влияние корональных выбросов массы (КВМ) на дифференциальные параметры верхней ионосферы Δf_0F2 по данным критических частот f_0F2 за сентябрь-октябрь 2013г., определяемых

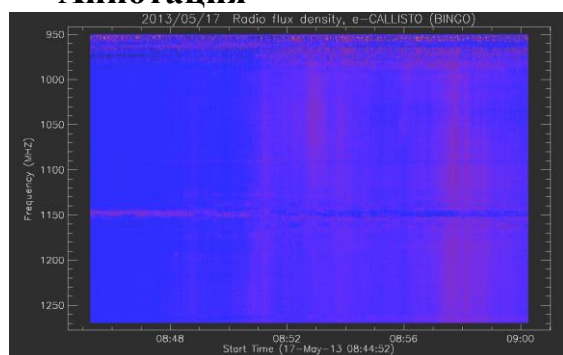
из единообразных ионограмм, полученных с современного цифрового ионозонда CADI.

Существует отрицательная производная во временном поведении отклонения f_0F2 после возникновения KBM типа петля.

федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский радиофизический институт»



Аннотация

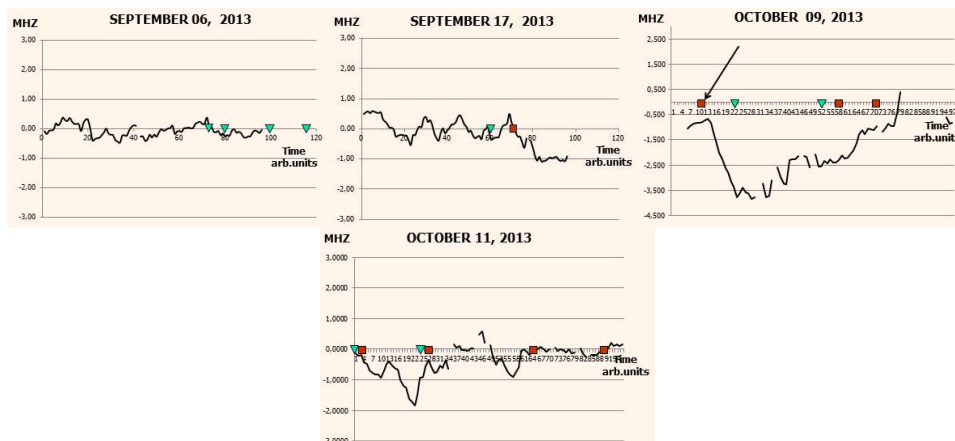


Ранее авторы предложили процедуру обнаружения влияния KBM на дифференциальные параметры верхней ионосферы Δf_0F2 , как более чувствительный по сравнению с традиционными метод. Для проверки обнаруженного соотношения мы использовали в предлагаемом исследовании данные критических частот f_0F2 ,

определяемые из единообразных ионограмм, полученных с современного цифрового ионозонда CADI. Это ионозонд установлен на загородном полигоне ФГБНУ НИРФИ "Васильсурск" (под Нижним Новгородом) и позволяет осуществлять регулярный съем ионограмм вертикального зондирования в дежурном режиме. Точность определения критической

частоты меньше ± 50 кГц.

На нижеприведенных рисунках проиллюстрированы результаты анализа данных зондирования ионосферы в период сентябрь-октябрь 2013 года: наблюдается много примеров совпадения времен существования KBM и отрицательных отклонений в $\Delta f_0 F_2$.



Литература.

1 Olga Sheiner, Feodor Vybornov, Aleksander Pershin, Vladimir Fridman, Alexander Rakhlin Effect of solar Coronal Mass Ejections on the ionosphere // The 40th COSPAR Scientific Assembly, Moscow, 2-10 August 2014. Abstract D2.3-0046-14.

2 Sheiner O., Vybornov F., Pershin A., Rakhlin A., Fridman V. The Impact of Coronal Mass Ejections on the Density of Ionosphere // 11th European Space Weather Week, November 17 - 21, 2014. Liege, Belgium. Final Programme & Abstract Book.

5. Зарегистрировано существенное волнообразное с амплитудой до 20% изменение регулярного поведения суточного хода критической частоты слоя F2 ионосферы в наблюдениях в период с 09.09 по 16.09.2014 г. с помощью современного цифрового ионозонда CADI, расположенного на территории загородной лаборатории «Васильсурск» ФГБНУ НИРФИ.

Такое поведение может быть объяснено геоэффективным влиянием солнечной активности на характеристики ионосферной плазмы: эффект наблюдается в период регистрации резкого увеличения солнечной активности.

федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский радиофизический институт»

Аннотация

Цифровой ионозонд CADI, развернутый на территории загородной

лаборатории «Васильсурск» и введенный в регулярную эксплуатацию в 2013 г., представляет собой новое поколение приборов для исследования параметров верхней атмосферы Земли методами вертикального зондирования с применением современных способов формирования и последующей обработки сигналов с целью повышения достоверности получаемой информации.

На рис.1 приведен суточный ход критической частоты слоя F2 ионосферы за 09-16.09.2014 г.

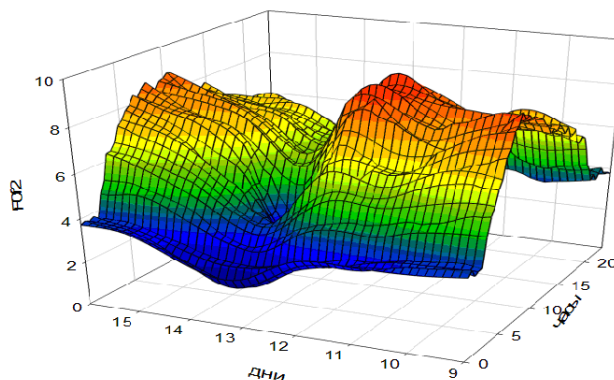


Рис. 1

Рисунки 2 и 3 отражают ход солнечной активности и характер ее влияния на магнитосферу Земли.

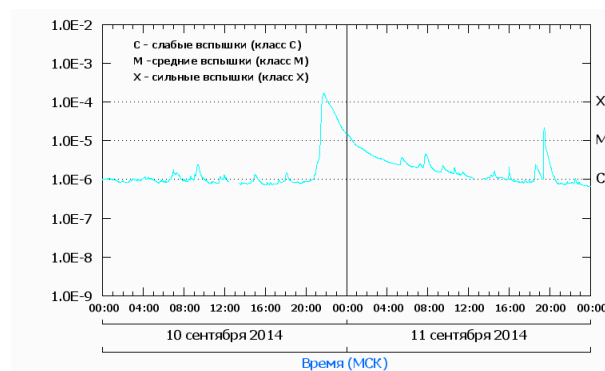


Рис. 2 Рентгеновское излучение Солнца с 10 сентября 2014 года по 11 сентября 2014 года по данным спутника GOES-15

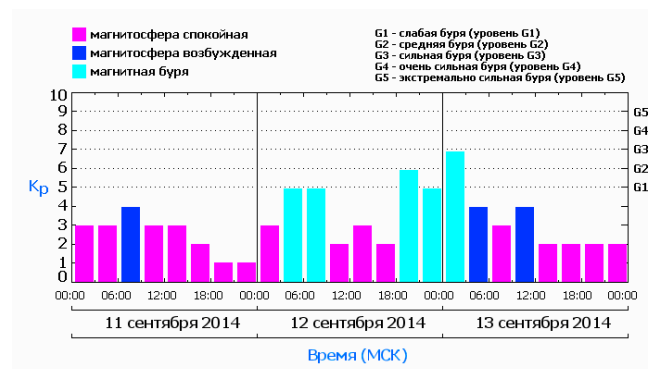


Рис. 3 Магнитные бури
<http://www.tesis.lebedev.ru/>

Полученные авторами результаты являются логическим продолжением начатых ими же ранее исследований геоэффективности процессов, происходящих на Солнце, в которых в качестве объекта воздействия выступала ионосферная плазма, а инструментом для изучения ее параметров служили станции вертикального зондирования ионосферы АИС и Базис, работавшие до начала 2000-х годов на полигонах института (см., например, Выборнов Ф.И., Митякова Э.Е., Рахлин А.В., Фридман В.М., Шейнер О.А., Зырянова М.С. О связи проявлений солнечной активности с характеристиками естественных ионосферных возмущений // Геомагнетизм и аэрономия, 2001, т.41, №2, с.215-217).

Ультратонкие горячие хромосферные петли.

- Исследовано происхождение ультратонких горячих петель в хромосфере и некоторые их дополнительные свойства, которые пока не обнаружены в экспериментальных данных. Показано, что в результате взаимодействия конвективных потоков фотосферной плазмы с магнитным полем в основаниях петли здесь генерируются достаточно большие электрические токи. Плазма в таких петлях может нагреваться до корональных температур за счет диссипации электрических токов. Источник нагрева сосредоточен в основаниях петли в интервале высот до нескольких сотен километров, где происходит увеличение температуры до значений порядка миллиона градусов. Нагрев более высоких слоев происходит за счет теплопроводности, которая находится в балансе с радиационными потерями. При этом относительно небольшая длина хромосферных петель является причиной того, что температура мало меняется от основания к вершине и петля остается практически изотермичной. Показано, что концентрация плазмы в таких трубках должна быть существенно меньше концентрации в окружающей хромосфере. Дана оценка собственных частот колебаний ультратонкой магнитной петли как эквивалентного электрического контура и указана возможная причина выбросов горячей плазмы из оснований петель.

Публикация: В.В. Зайцев, Ультратонкие магнитные структуры в хромосфере, Солнечная и солнечно-земная физика -2014, Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца, Санкт-Петербург, 2014, ISSN 0552-5829, стр.153-156.

Спорадический нагрев плазмы в нижней хромосфере

- Относительно давно широкое распространение получило мнение о том, что нагрев хромосферы происходит из-за вторжения энергичных частиц, электронов и протонов, ускоренных в короне Солнца, а именно, в вершинах вспышечных арок. При этом не рассматривалась возможность ускорения частиц и нагрева плазмы внутри самой хромосферы. С другой стороны, недавно получены наблюдательные данные, свидетельствующие о нагреве хромосферных оснований компактных магнитных петель до температуры $\geq 10^6$ К (Жи и др. 2012), причем из оснований таких петель наблюдались выбросы горячей плазмы. Реализация плазменного механизма терагерцового излучения вспышек также может свидетельствовать о возможности нагрева до температур порядка $10^5 - 10^6$ К глубоких слоев хромосферы с концентрациями до $n \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$. В результате выполнения проекта показано, что ускорение электронов и нагрев плазмы в нижней хромосфере могут реализоваться при развитии в хромосферных основаниях магнитной петли баллонной моды желобковой неустойчивости. Желобковая неустойчивость приводит к проникновению внешней хромосферной плазмы внутрь петли и вызывает генерацию индукционного электрического поля, эффективно ускоряющего электроны и приводящего к нагреву хромосферы *in situ*. Исследованы условия возникновения желобковой неустойчивости в основаниях корональных магнитных петель, найдены нелинейные возмущения магнитного поля и связанные с ними индукционные электрические поля. Определены энергии и потоки ускоренных электронов и нагрев нижних слоев хромосферы. Показано, что спорадические возрастания температуры нижних слоев могут достигать нескольких миллионов градусов, приводя к возникновению источников терагерцового излучения активных областей

Публикация: V. V. Zaitsev, Geomagnetism and Aeronomy; ISSN 0016-7932; импакт-фактор 0,510, Sporadic Plasma Heating in the Lower Chromosphere; 2014; V.54, pp.882-885, DOI: 10.134/S0016793214070184.

Суб-секундные пульсации терагерцового излучения солнечных вспышек

- Предложен механизм суб-секундных квазипериодических пульсаций терагерцового излучения солнечных вспышек, основанный на представлении вспышечной арки в виде эквивалентного электрического (RLC) контура, период осцилляций которого зависит от величины протекающего в нем электрического тока. Механизм объясняет период осцилляций, их высокую добротность, $Q \geq 10^3$, синфазность пульсаций на разных частотах и наблюдаемые зависимости частоты осцилляций от потока ТГц-излучения. Показано, что постепенное увеличение периода пульсаций в процессе эволюции вспышки соответствует уменьшению более чем на порядок величины электрического тока в петле и свидетельствует о связи процесса энерговыделения вспышки с диссипацией токов. Методом Ван дер Поля решено нелинейное уравнение для осцилляций электрического тока и найдено установившееся значение. Предложенная модель пульсаций свидетельствует в пользу плазменного механизма суб-терагерцового излучения.

Публикация: V.V. Zaitsev · A.V. Stepanov · P. Kaufmann, Solar Physics ; ISSN 0038-0938: импакт-фактор 3,805; On the Origin of Pulsations of Sub-THz Emission from Solar Flares; 2014, V.289, pp.3017-3032, DOI: 10.1007/s 11207-014-05159

Проблема поляризации «зебра структур» в спорадическом радиоизлучении Солнца

- Решена проблема происхождения поляризации солнечного радиоизлучения с тонкой структурой спектра типа зебра. Эта структура в виде квазигармонических параллельно дрейфующих полос повышенного излучения обязана своим происхождением плазменному механизму генерации на уровнях двойного резонанса, где плазменная частота близка к гармоникам гирочастоты электронов. Показано, что заметная поляризация наблюдаемого на Земле радиоизлучения может возникнуть, только если оно является результатом рассеяния (в том числе, индуцированного) плазменных волн ионами или слияния этих волн с низкочастотными волнами в электромагнитное излучение на частоте основного тона. В этих условиях обыкновенная волна свободно выходит из источника генерации, а необыкновенная волна оказывается в зоне непрозрачности и не покидает источник. Указаны возможные причины деполяризации радиоизлучения с зебра-структурой, которое выходит из источника полностью поляризованным со знаком обыкновенной волны.

Публикация: E.Y. Zlotnik · V.V. Zaitsev · A.T. Altyntsev, Solar Physics ; ISSN 0038-0938: импакт-фактор 3,805; On Polarization of the Zebra Pattern in Solar RadioEmission; 2014, V.289, pp.233-249, DOI: 10.1007/s 11207-013-0327-3

Лабораторное моделирование неустойчивости в области двойного плазменного резонанса

- 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. Викторov, 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.

ФИАН

Результаты по физике Солнца, полученные в 2014 г. в Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца ФИАН (зав. Лабораторией д.ф.-м.н. С.В. Кузин)

1. По результатам анализа космических изображений Солнца в спектральной линии Mg XII 8.42 Å, полученных телескопом СПИРИТ на спутнике КОРОНАС-Ф, впервые обнаружено явление формирования горячей (с температурой порядка и более 5 млн. К) аркады петель в короне Солнца после солнечной вспышки. Ранее высокотемпературная плазма в короне Солнца наблюдалась исключительно в виде отдельных источников, располагающихся над вершинами магнитных вспышечных петель. Исследован сценарий развития аркады, состоявший из трех последовательных частей: а) формирование вспышки-предшественника; б) формирование аркады путем последовательного «зажигания» петель; в) затухание аркады в течение около часа. Скорость последовательного формирования петель аркады составляла примерно 700 км/с, а расстояние между петлями ~ 50 Мм. Соответствующий нагрев объяснен разрушением токового слоя, произошедшим под воздействием вспышки-предшественника.

Направлена в печать (Astrophysical journal) статья Reva et al. «Wave-like formation of hot-loop arcades».

2. Разработан автоматический алгоритм для массового исследования солнечных протуберанцев. Алгоритм применен к базе данных космического эксперимента ТЕСИС за 4 месяца наблюдений. За этот период найдено 389 событий (протуберанцев), которые были исследованы статистическим способом. Для каждого события найдены следующие характеристики: положение центра, высота, размер, форма. Измерены средние скорости движения протуберанцев и показано, что они не превышают 3 км/сек для большинства событий. Главным результатом исследования стало измерение массы и гравитационной энергии ансамбля протуберанцев (10^{12} - 10^{14} кг и 10^{29} - 10^{31} эрг, соответственно). Статистическое исследование показало, что распределение протуберанцев по энергии является степенным с наклоном ~ 1.1 .

Направлена в печать (Solar Physics) статья Loboda and Bogachev «Quiescent and Eruptive Prominences at Solar Minimum: a Statistical Study via an Automated Tracking System»

3. Разработан метод восстановления поля скоростей макроспикул в короне Солнца. В 2009 году с обсерваторией ТЕСИС было получено 2 серии изображений Солнца в дальнем ультрафиолетовом диапазоне с рекордным временным разрешением от 3.5 с. На этих снимках в линии HeII 304 Å было идентифицировано 36 макроспикул, и для 18 из них были получены реконструкции поля скоростей в одномерном приближении с помощью разработанного нами алгоритма обработки данных. Были установлены основные особенности их движения, в первую очередь равенство скоростей вдоль оси макроспикулы и одновременная остановка вещества на всех высотах. Было подтверждено, что движение вещества внутри макроспикулы равноускорено так же, как и движение её верхней точки, с характерными значениями ускорения 130—220 м/с². Были определены характерные скорости движения: 60—100 км/с, что в несколько раз больше аналогичного

показателя для спикул в видимом диапазоне. Помимо этого, с помощью тех же вычислительных процедур была дана оценка доли вещества макроспикул (10—40 %), теряемая ими за время движения при наблюдении в линии HeII 304 Å, что свидетельствует о том, что значительная доля вещества макроспикулы нагревается выше температур переходного слоя и переходит в корону. Тем самым было подтверждено, что макроспикулы и, соответственно, спикулы, могут восполнять потери плазмы в короне, обусловленные истечением вещества с солнечным ветром.

И.П. Лобода, С.А. Богачев.

4. В наблюдениях Солнца с помощью широкопольных ВУФ-телескопов (СПИРИТ, SWAP), чувствительных к линиям с температурой 1 МК, над некоторыми активными областями в короне регистрируются расходящиеся лучеобразные структуры. Эти структуры часто простираются до 1,5 – 2 солнечных радиусов и переходят в стримеры, наблюдаемые в оптических коронографах. Для объяснения этих явлений был исследован стример, который наблюдался телескопом SWAP, спектрометром Hinode/EIS и коронографом Mk4 Мауна Лоа 20 и 21 октября 2010 г. Показано, что ВУФ излучение структуры на расстояниях менее 2 радиусов (от центра Солнца) обусловлено столкновительным возбуждением, а выше – резонансным рассеянием излучения линий FeIX-X от нижележащих слоев короны. С помощью моделирования излучения было найдено, что выше 1,2 R плазма в стримере является изотермической с температурой 1.43 ± 0.08 МК, в то время как распределение плотности электронов соответствует гидростатическому распределению с температурой 1.72 ± 0.08 МК. Высказано предположение, что более высокая гидростатическая температура связана с движением вдоль стримера потока плазмы, переходящего в солнечный ветер.

Goryaev, F.; Slemzin, V.; Vainshtein, L.; Williams, David R. Study of Extreme-ultraviolet Emission and Properties of a Coronal Streamer from PROBA2/SWAP, Hinode/EIS and Mauna

5. Во время прошедшего экстремально глубокого минимума солнечной активности, с помощью приборов КОРОНАС-ФОТОН/ТЕСИС и SPHINX, STEREO/EUVI, PROBA2/SWAP наблюдалось большое число явлений мелкомасштабной солнечной активности, таких как микровспышки и слабые корональные выбросы массы (КВМ). В то же время, в данных о солнечном ветре, полученных со спутников ACE, Wind, STEREO наблюдались транзитные межпланетные КВМ (МКВМ-транзиты), характеризующиеся короткой продолжительностью (~ 10 часов), слабым магнитным полем (< 10 нТ) и более низкой протонной температурой, чем обычные МКВМ. В работе анализируются данные о вспышках классов C и ниже и сопутствующих КВМ, полученные указанными приборами в 2009 г., в сопоставлении с параметрами солнечного ветра. Полученные результаты согласуются с предположением о том, что слабые вспышки и КВМ могут быть источниками транзитных потоков солнечного ветра, проявляющихся в виде МКВМ-транзитов, хотя по некоторым характеристикам (скорость, средний заряд ионов Fe, модуль магнитного поля) они близки к фоновому потоку медленного солнечного ветра.

V. Slemzin, S. Kuzin, S. Gburek, Yu. Shugay, I. Veselovsky, F. Goryaev, A. Kirichenko, A. Ulyanov. "Transient flows of the solar wind associated with small-scale solar activity in solar minimum". Доклад на секции D2.5. "Space Plasmas in the Solar System, including Planetary Magnetospheres, Energy Release and Particle Acceleration and Transport in Flares, CMEs, and the Heliosphere" на 40-й Ассамблее КОСПАР, Москва, 2-10 августа 2014 г.

ПРАО АКЦ ФИАН, ИРЭ РАН

Межпланетная плазма

Выполнен анализ флуктуаций фарадеевского вращения плоскости поляризации радиоволн (ФФВ), полученных при радиопросвечивании сверхкороны Солнца линейно-

поляризованными сигналами зондов HELIOS-1,-2 в S-диапазоне (частота 2.3 ГГц). По данным одновременных измерений ФФВ на станциях наблюдения Голдстоун и Канберра получены оценки скорости движения возмущений магнитного поля в околосолнечной плазме на гелиоцентрических расстояниях 3...6 радиусов Солнца. Показано, что скорость возмущений является комбинацией альвеновской скорости и скорости солнечного ветра. На основе большого объема экспериментальных данных, полученных в разные годы в четырех циклах радиопросвечивания, определены временные спектры ФФВ. Фильтрация первичных данных, использование спектрального, корреляционного и вейвлет-анализа показали, что в ФФВ регулярно присутствуют цуги квазипериодических колебаний магнитного поля с различными амплитудами и периодами от 2 до 160 минут. Квазипериодический характер возмущений подтверждает их связь с распространяющимися в околосолнечной плазме альвеновскими волнами [8].

По данным радиозатменных экспериментов, осуществлённых с 1981 по 2011 год с помощью отечественных, европейских, американских космических аппаратов, исследованы характеристики солнечного ветра и волновых процессов в околосолнечной плазме. Исследована корреляция флуктуаций частоты радиоволн на разнесённых в околосолнечной плазме трассах и определены значения скорости солнечного ветра в зависимости от расстояния до Солнца и гелиошироты. Проведена спектральная обработка частотных флуктуаций радиоволн и получены радиальный и гелиоширотный профили показателя степени пространственного спектра турбулентности солнечного ветра. Подтвержден вывод о том, что переход из области ускорения в область установившегося течения совпадает со сменой режима турбулентности. Проведён сравнительный анализ эффективности различных методик (в том числе, и вейвлет-преобразования) детектирования квазипериодических колебаний частоты и угла поворота фарадеевского вращения плоскости поляризации радиоволн, обусловленных волновыми явлениями, протекающими в сверхкороне Солнца. Обнаружено, что во временных спектрах флуктуаций частоты сигналов, зондирующих околосолнечную плазму на различных гелиоцентрических расстояниях, регулярно присутствуют квазипериодические флуктуации с периодами от 1 до 80 минут, вызываемые волнами плотности. Установлено, что на гелиоцентрических расстояниях 3-12 радиусов Солнца наблюдаются осцилляции магнитного поля с различными периодами, обусловленные распространяющимися в околосолнечной плазме цугами альвеновских волн. [3]

Получены оценки средних скоростей выбросов корональной массы, зафиксированных в 2011-2012 гг. по наблюдениям межпланетных мерцаний. Наблюдения проведены на

радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Средняя скорость оценивалась по интервалу времени между рентгеновской вспышкой, ассоциированной с рождением СМЕ, и всплеском мерцаний. В половине всех рассмотренных случаев точность оценки прихода возмущения на Землю составляла несколько часов. Показано, что оценка средней скорости выброса между короной и областью, зондируемой по мерцаниям на элонгациях $40^\circ - 50^\circ$, оказывается близкой к средней скорости выброса между короной и Землей. Показано, что скорости выбросов, оцененные по запаздыванию усиления мерцаний по отношению к рентгеновским вспышкам, значительно ближе к истинным, чем скорости, найденные по ширине временных спектров мерцаний [7]. Анализ данных указанной серии наблюдений показал, что сравнение индексов мерцаний данного дня с индексами мерцаний в предыдущий день позволяет фиксировать подавляющую часть возмущений, ассоциированных с рентгеновскими вспышками балла M5.0 и выше [4].

Проведен анализ временных спектров межпланетных мерцаний сильных радиоисточников 3С 48 и 3С 298, наблюдавшихся на частоте 111 МГц на радиотелескопе БСА ФИАН в период максимума солнечной активности 24 цикла. По измеренным временным спектрам мерцаний оценивались скорость движения неоднородностей и показатель степени пространственного спектра турбулентности. Показано, что зависимость спектрального индекса турбулентности от скорости солнечного ветра существует и в период высокой активности Солнца, при этом глобальная пространственная структура солнечного ветра сильно модулируется циклом активности [5].

Самосогласованным образом рассмотрен нагрев электронов солнечного ветра на больших, $\gg 1$ а.е., гелиоцентрических расстояниях при взаимодействии со слабыми ударными волнами. Учитывалось уменьшение степени сжатия в ударных волнах за счет передачи энергии электронам. Показано, что относительная амплитуда ударной волны асимптотически стремится к значению 0,1 при удалении от Солнца. При этом температура электронов сильно зависит от первоначального значения среднего скачка скорости на фронте и составляет от 5 000 К до 50 000 К на расстояниях больше 50 а.е. [6] (Совместно с Боннским университетом)

Публикации

1. Тюльбашев С.А., Глянцев А.В., Чашей И.В., Шишов В.И., Орешко В.В. Наблюдения мерцающих источников на модернизированном радиотелескопе БСА // Труды Всероссийской конференции по солнечно-земной физике. Иркутск. 2013. С.296-301
2. Чашей И.В., Шишов В.И., Тюльбашев С.А., Глубокова С.К., Глянцев А.В., Субаев И.А. Результаты мониторинга турбулентного солнечного ветра по измерениям межпланетных

мерцаний вблизи минимума 23/24 цикла солнечной активности. Сборник «СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ПЛАЗМЕННОЙ ГЕЛИОГЕОФИЗИКЕ». Ред Л.М.Зеленый, И.С.Веселовский. Раздел 4. (<http://sdpg.cosmos.ru/>)

3. А. И. Ефимов, Л. А. Луканина, А. И. Рогашкова, Л. Н. Самознаев, И. В. Чашей, МК. Берд, М.Пэтцольд. Прогресс в изучении солнечного ветра методом радиопросвечивания. Сборник «СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ПЛАЗМЕННОЙ ГЕЛИОГЕОФИЗИКЕ». Ред Л.М.Зеленый, И.С.Веселовский. Раздел 5. (<http://sdpg.cosmos.ru/>)

4. Глянцев А.В., Тюльбашев С.А., Чашей И.В., Шишов В.И. О детектировании корональных выбросов массы в межпланетной среде по наблюдениям мерцаний радиоисточников // Астрон. Журн. Т.91. №9. С.713-719.2014

5. Глубокова С.К., Глянцев А.В., Тюльбашев С.А., Чашей И.В., Шишов В.И. Параметры турбулентности межпланетной плазмы по наблюдениям мерцаний квазаров 3С 48 и 3С 298 в период максимума солнечной активности // Астрон. Журн.

6. Fahr H.J., Chashei I.V., Verscharen D. Travelling solar wind bulk velocity jumps in the inner heliosphere and their effects on electron heating in the solar wind // Astron. Astrophys.

7. Глянцев А.В., Тюльбашев С.А., Чашей И.В., Шишов В.И. Наблюдения выбросов корональной массы методом межпланетных мерцаний в период вблизи максимума 24 цикла солнечной активности // Астрон. журн.

8. Ефимов А.И., Луканина Л.А., Рогашкова А.И., Самознаев Л.Н., Чашей И.В., Бёрд М.К., Петцольд М. Флуктуации Фарадеевского вращения по данным поляризационного радиопросвечивания околосолнечной плазмы сигналами космических зондов HELIOS-1,-2 // Астрон. Журн.

Участие в конференциях

Физика плазмы в Солнечной системе (9 ежегодная), Москва, 10-14.02.2014

1. Чашей И.В., Фар Х. О нагреве электронов солнечного ветра на больших гелиоцентрических расстояниях.
2. Шишов В.И., Чашей И.В., Тюльбашев С.А., Орешко В.В., Субаев И.А., Логвиненко С.В. Модернизированный радиотелескоп БСА ФИАН: первые результаты.
3. Ефимов А.И., Луканина Л.А., Рогашкова А.И., Самознаев Л.Н., Чашей И.В., Берд М.К., Пэтцольд М. Альвеновские волны в области ускорения солнечного ветра в течение цикла солнечной активности по данным поляризационного радиопросвечивания.

40th Scientific COSPAR Assembly, Moscow, 2-10 Aug. 2014

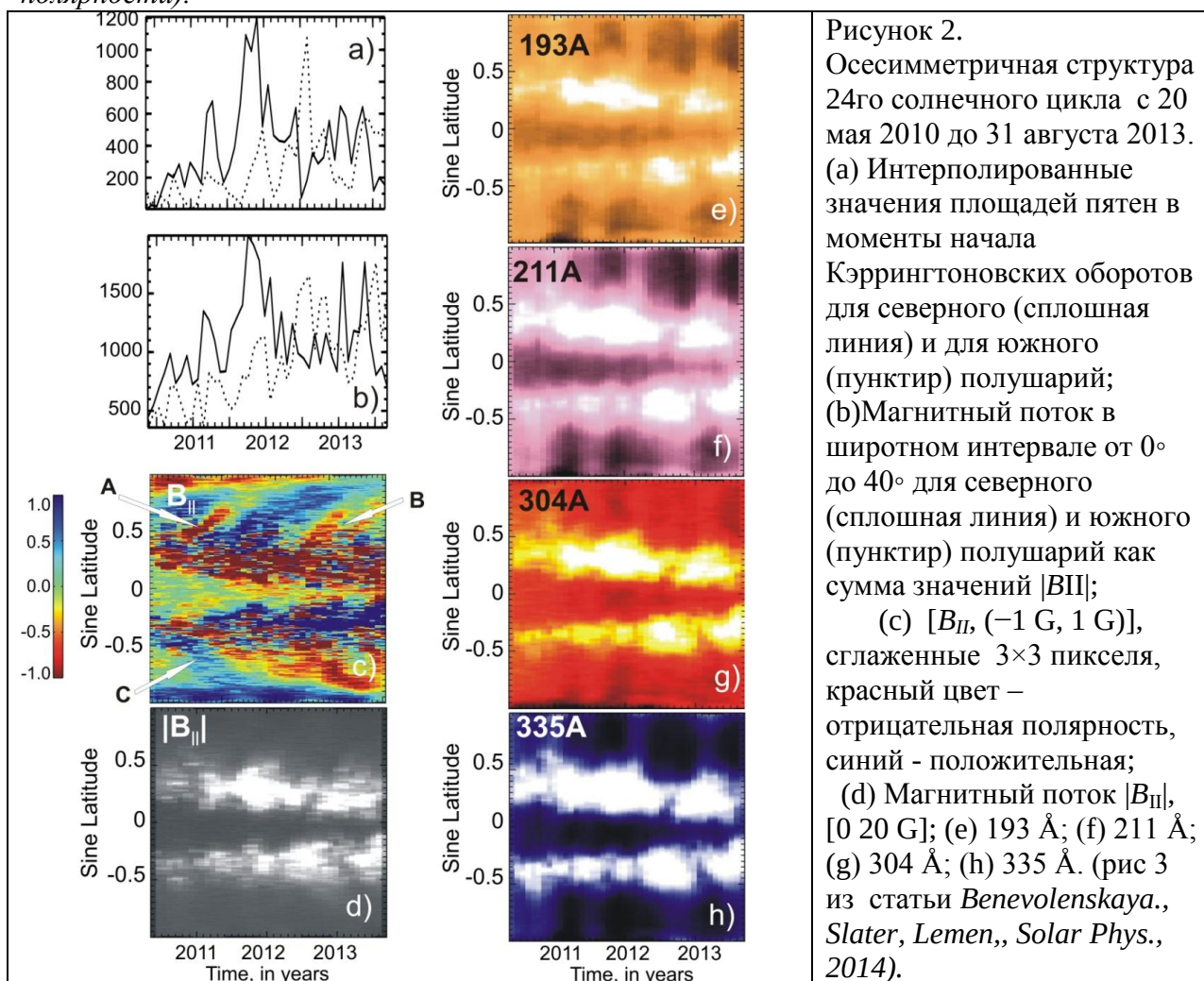
1. Efimov A.I., Lukanina L.A., Rogashkova A.I., Samoznaev L.N., Chashei I.V., Bird M.K., Paetzold M. Coronal sounding experiments with HELIOS-1 and HELIOS-2: Faraday rotation observations of Alfvénic waves in the region of solar wind acceleration. E2.2-0059-14
2. Fahr H.J., Chashei I.V. Travelling bulk velocity jumps in the inner heliosphere heating solar wind electrons. D1.2-0007-14

3. Efimov A.I., Lukanina L.A., Samoznaev L.N., Rudash V.K., Chashei I.V., Bird M.K., Paetzold M., Asmar S., Haeusler B., Hahn M., Tellman S., Tyler G.L. Coronal radio sounding experiments with ROSETTA and MARS EXPRESS during solar conjunctions in 2010/2011. E2.6-0024-14.

Особенности развития 24-го цикла солнечной активности.

Проанализировано развитие текущего цикла по данным SDO. Показано запаздывание смены знаков полярного магнитного поля, отмечено формирование зон перемежающейся полярности.

Получены синоптические карты по данным космической обсерватории 'Solar Dynamics Observatory» в крайнем ультрафиолете, которые отражают структуру солнечной активности в фотосфере, хромосфере и короне. На основании этих данных показано, что текущий цикл солнечной активности, состоящий из импульсов или всплесков магнитной энергии, выходящей на поверхность Солнца, демонстрирует запаздывание в смене знака полярного магнитного поля, несмотря на то, что полярные магнитные поля, в минимуме, перед началом цикла были слабыми. Это обусловлено внутренней динамикой солнечной активности и формированием зон перемежающейся полярности в осесимметричном распределении солнечного цикла (рис. 1с, А, В, С - зоны доминирующей полярности).



--	--

ИСПОЛНИТЕЛЬ от ГАО: Беневоленская Е.Е.,

Публикации 2014 года по данной теме:

1. Benevolenskaya, E., Slater, G., Lemen, J., Synoptic Solar Cycle 24 in Corona, Chromosphere, and Photosphere seen by the Solar Dynamics Observatory, 2014, **Solar Phys.**, 289, Issue 9, pp.3371-3379.

2. Benevolenskaya, E. E., Shapovalov, S. N., Kostuchenko, I. G. Solar Spectral Irradiance and Total Solar Irradiance at a Solar Minimum, **Geomagnetism and Aeronomy**, 2014, Vol. 54, No. 7, 4 pp.

3. Benevolenskaya, E. E., Kostuchenko, I. G., Active Longitudes in Minima of Solar Activity, **Geomagnetism and Aeronomy**, 2014, Vol. 54, No. 8, 4pp.

Роль крутильных колебаний, индуцируемых на уровне фотосферы в магнитной силовой трубке, в нагреве короны

Численно исследуется распространение крутильных альвеновских возмущений, создаваемых относительно медленными внешними возмущениями (конвекцией) на уровне фотосферы, в основании вертикальной магнитной силовой трубке, помещенной в реалистическую солнечную атмосферу. Показано, что, несмотря на значительное отражение альвеновских волн от области тонкого переходного слоя («transition region»), заметная часть энергии волны проникает в корону и может вносить существенный вклад в ее нагрев.

Numerical simulations of three-dimensional magnetic swirls in a solar flux-tube

Piotr Chmielewski¹, Krzysztof Murawski¹ and Alexandr A. Solov'ev²

¹ Group of Astrophysics, University of Maria Curie-Skłodowska, ul. Radziszewskiego 10, 20-031 Lublin, Poland; *p_chmielewski@yahoo.com*

² Pulkovo Astronomical Observatory, Pulkovskoe shosse 65/1, 196140, Saint Petersburg, Russian Federation

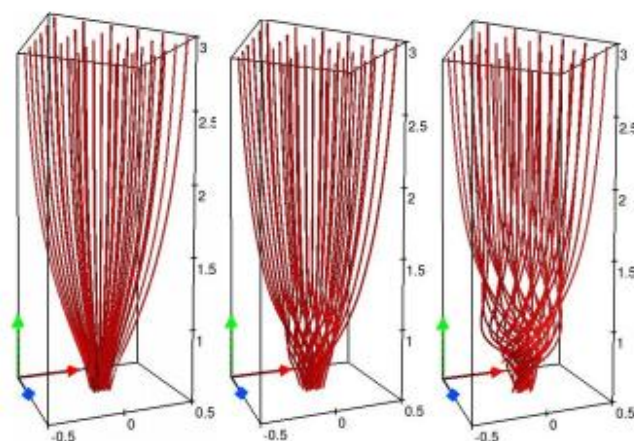


Fig. 1 Temporal snapshots of magnetic field lines at $t = 0$ s (left), $t = 300$ s (middle) and $t = 500$ s (right). Red, green and blue arrows correspond to the x -, y - and z -axes, respectively.

Выявлен прогностический фактор больших (геоэффективных) вспышек на Солнце на основе анализа микроволнового излучения и магнитографических характеристик активных областей.

ГАИШ МГУ

Важнейшие научные результаты отдела физики Солнца

I.1. Получено в явном виде аналитическое решение задачи о структуре неравновесной магнитосферы, образующейся в результате взаимодействия ударной волны от сверхновой с магнитным полем нейтронной звезды. Решение позволяет найти величину прямых и обратных токов в пересоединяющем токовом слое в хвосте магнитосферы. Наличие обратных токов обеспечивает избыток магнитной энергии, необходимый для объяснения космических всплесков жесткого электромагнитного излучения.

(Безродных С.И., Сомов Б.В., Аналитическое решение задачи о взаимодействии ударной волны с магнитосферой нейтронной звезды. Доклады Российской академии наук, 2014, том 457, № 4, с. 406-410. Bezrodnykh S.I., Somov B.V., Analytical solution of the problem of interaction between a shock wave and a neutron star's magnetosphere. Doklady Physics, 2014, Vol. 59, No. 8, pp. 355-359, Pleiades Publ., Ltd.)

I.2. С целью объяснить результаты современных наблюдений солнечных вспышек на спутниках GOES, Hinode, RHESSI и TRACE построена аккуратная аналитическая модель источника жесткого рентгеновского излучения вспышки в виде «толстой мишени» с обратным током. Одномерная в обычном пространстве, но двумерная в пространстве скоростей, модель самосогласованным образом учитывает коллективные потери энергии пучка ускоренных электронов. Показано, что плотность потока энергии переносимой электронами на два порядка превышает значения, характерные для классической модели без обратного тока.

(Грицык П.А., Сомов Б.В., Эффект обратного тока в современных моделях солнечных вспышек: теория и высокоточные наблюдения. Письма в Астрономический журнал, 2014, том 40, № 8, с. 554-565. Gritsyk P.A., Somov B.V., Reverse-current effect in present-day models of solar flares: Theory and high-accuracy observations. Astronomy Letters, 2004, Vol. 40, No. 8, pp. 499-509, Pleiades Publ., Ltd.)

Вносятся только через систему ИСТИНА (пункт «Мои достижения» справа на главной странице пользователя). Правила игры изменились. От всего института в качестве основных может быть выдвинуто не более четырех из внесенных сотрудниками в ИСТИНУ достижений (это требование МГУ). Критерии важнейшего результата (это не наши выдумки, а общие критерии МГУ):

1) он обязательно должен быть опубликован (именно опубликован, не только сдан в печать); 2) хорошо, если достижение опубликовано в цикле статей; последняя статья цикла – в 2014 году; 3) крайне желательно, если результат опубликован в статье/статьях в журналах из ТОП-25.

В отчете отдела предоставить информацию о достижениях, внесенных сотрудниками отдела в систему ИСТИНА.

НИИЯФ МГУ, А.В. Гетлинг, Л.М. Алексеева

Путем обработки данных наблюдений развивающейся активной области, проведенных на солнечном оптическом телескопе ИСЗ Хиноде по специально разработанной программе НОР 181, построены карты лучевых и тангенциальных скоростей и магнитных полей. Разработана процедура их совмещения по реперным точкам. Работа выполнялась в сотрудничестве с Р. Исикава (Токио) и А.В. Бучневым (Новосибирск). Показано, что распределения лучевых и тангенциальных магнитных полей хорошо коррелируют, причем тангенциальные поля окаймляют локальные максимумы лучевых. В то же время не наблюдается сильных тангенциальных полей между максимумами лучевого поля, которых следовало бы ожидать в случае всплывания петель сильного поля. Кроме того, в поле тангенциальных скоростей не выявляется признаков интенсивного растекания в масштабе всей растущей активной области от места ожидаемого всплывания трубки. **Результаты работы, таким образом, противоречат представлению о всплывании трубки сильного магнитного поля и свидетельствуют в пользу действия локального конвективного механизма усиления магнитных полей. Они представлены в статье [1] и тезисах докладов [4, 8].**

В задаче численного моделирования ячеечной МГД-конвекции исследовались режимы умеренных чисел Прандтля – гидродинамического и магнитного – и слабых начальных магнитных полей. Расчеты выполнялись для области с большими аспектными отношениями. Эта работа, ведущаяся совместно с В.В. Колмычковым и О.С. Мажоровой (ИПМ имени М.В. Келдыша РАН), направлена на выяснение возможности формирования полей активных областей благодаря действию локального конвективного МГД-динамо. Результаты моделирования показали, что ячейчатая конвекция способна создавать разнообразные конфигурации усиленного магнитного поля, причем механизмы «сгребания» и «наматывания» магнитных силовых линий конвективными течениями

действуют параллельно, Найдены режимы, которых развиваются особенно компактные конфигурации значительно (например, в 3000 раз) усиленного магнитного поля. Работа является содержанием докладов [5, 7].

В сотрудничестве с О.В. Щерицей и О.С. Мажоровой (ИПМ имени М.В. Келдыша РАН) исследовался эффект расщепления масштабов в глобально неустойчивом, но сильно неоднородном по температурной стратификации слое – сосуществование в нем конвективных течений, резко различающихся по своему характерному масштабу. А именно, температуроводность жидкости считалась сильно зависящей от температуры, что создавало резкое изменение статического температурного градиента на некоторой высоте вблизи верхней поверхности. Для выделения характерных масштабов из суперпозиции разномасштабных ячейных течений строились как пространственные фурье-спектры течений, так и траектории жидких частиц в фазовом пространстве. Это позволило выделить разные масштабы и проследить, как мелкие элементы поля скоростей переносятся крупными. Результаты работы описаны в статье [2] и докладах [6].

Физические причины образования характерных для хромосферы мелкомасштабных структур изучались совместно с С.П. Кшевецким (Калининград) путем численных экспериментов на основе двумерных МГД уравнений полностью самосогласованной динамики магнитного поля и состояния столкновительной плазмы. Показано, что распад отдельно стоящей однополярной магнитной трубки на множество мелких трубочек, равно как и возникновение высокоскоростных плазменных потоков у поверхности раздела разнополярных магнитных областей (вообще говоря, эти потоки приводят к взрывообразной энергетизации хромосферной плазмы) обусловлены нелинейной стадией развития одной и той же неустойчивости — пинчевой в широком смысле слова. Это аналог перетяжки лабораторного Z-пинча, возникающий в области спада магнитного поля до нуля. Создана программа моделирования с учетом (изотропной) газовой вязкости; расчеты с искусственно увеличенной вязкостью позволили сделать вывод, что вязкость, влияя на величину потоков плазмы, снижает интенсивность ее взрывной энергетизации. Результаты представлены в статье [3] и тезисах докладов [7, 8].

Сделана попытка дать гелиогеофизическую интерпретацию некоторым сведениям из мифологии северных народов [9].

Публикации

1. A.V. Getling, R. Ishikawa, A.A. Buchnev, “Doubts about the crucial role of the rising-tube mechanism in the formation of sunspot groups”, *Advances in Space Research*, 2014, DOI: 10.1016/j.asr.2014.07.024.
2. O.V. Shcheritsa, A.V. Getling, O.S. Mazhorova, “Stratification-induced scale splitting in convection”, *Advances in Space Research*, 2014, DOI: 10.1016/j.asr.2014.08.034.
3. L.M. Alekseeva, S.P. Kshevetskii, “Numerical MHD simulation of the coupled evolution of collisional plasma and magnetic field in the solar chromosphere. I. Gradual and impulsive energisation”, *Solar Physics*, 2014, in press.
4. Alexander Getling, Ryohko Ishikawa, Aleksei Buchnev, “Formation of sunspot groups: Do we see manifestations of the rising-tube mechanism?”, *40th COSPAR Scientific Assembly*, held 2–10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract E2.2-21-14.
5. Alexander Getling, Olga Mazhorova, Vyacheslav Kolmychikov, “Can subphotospheric magnetic fields be amplified and structured by a convective mechanism?”, *40th COSPAR Scientific Assembly*, held 2–10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract E2.2-37-14

6. Alexander Getling, Olga Shcheritsa, Olga Mazhorova, “Why can different flow scales coexist in solar convection?”, *40th COSPAR Scientific Assembly*, held 2–10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract E2.4-29-14.
7. Liliya Alekseeva, Sergey P. Kshevetskii, “The dynamics of plasma with a horizontal magnetic field in the chromosphere”, *40th COSPAR Scientific Assembly*, held 2–10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract E2.3-18-14.
8. Liliya Alekseeva, Sergey P. Kshevetskii, “On a possible nature of cross-shaped zebra patterns occasionally observed in the solar atmosphere”, *40th COSPAR Scientific Assembly*, held 2–10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract E2.4-30-14.
9. Liliya Alekseeva, “Was the Sun especially active at the end of the late glacial epoch?”, *40th COSPAR Scientific Assembly*, held 2–10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract D2.2-76-14.
10. A.V. Getling, V.V. Kolmychikov, O.S. Mazhorova, “Mesoscale convective dynamo and sunspot formation”, in *14th European Solar Physics Meeting*, Trinity College Dublin, Ireland, 2014, Programme and Abstract Book, p. 15.
11. A.V. Getling, R. Ishikawa, A.A. Buchnev, “Hydrodynamic aspects of sunspot-group formation: rising flux tube and magnetoconvection versus the observed pattern”, in *14th European Solar Physics Meeting*, Trinity College Dublin, Ireland, 2014, Programme and Abstract Book, p. 62.

М.М.Кацова (ГАИШ), М.А.Лившиц (ИЗМИРАН)

проанализировали активность Солнца в эпоху формирования цикла.

На основе изучения процессов на маломассивных звёздах определен возраст 1 – 2 млрд лет, когда регулярный цикл на Солнце только сформировался; изучены характеристики активности такого молодого Солнца – запятненность фотосферы, физические условия в хромосфере и короне, а также темп потери массы и частота появления супервспышек. Получено также, что циклы в ту эпоху были на несколько лет короче по сравнению с современным 11-летним циклом. Новые знания в этом направлении существенны для выяснения роли космических факторов эволюции биосферы и понимания условий в атмосферах экзопланет

С уважением,

Katsova M.M.

mkatsova@mail.ru

Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН

1. На основе модельных расчетов переноса излучения в плазме солнечной фотосферы выяснено, что изменения градиентов магнитного поля и лучевой скорости значительно меняют высоты в фотосфере, с которых спектральная

линия доносит информацию до исследователя. Наглядно это можно представить как «притяжение» эффективного уровня отклика внешних участков профиля к тем слоям фотосферы, где магнитное поле (и/или лучевая скорость) достигают максимальных значений. Учет найденного эффекта значительно корректирует результаты, полученные на основе сравнения измерений для пар линий. Так как использование пар линий широко вошло в практику в приборах, базирующихся на космических аппаратах, это может иметь большое практическое значение для правильной калибровки и интерпретации измерений параметров солнечной плазмы.

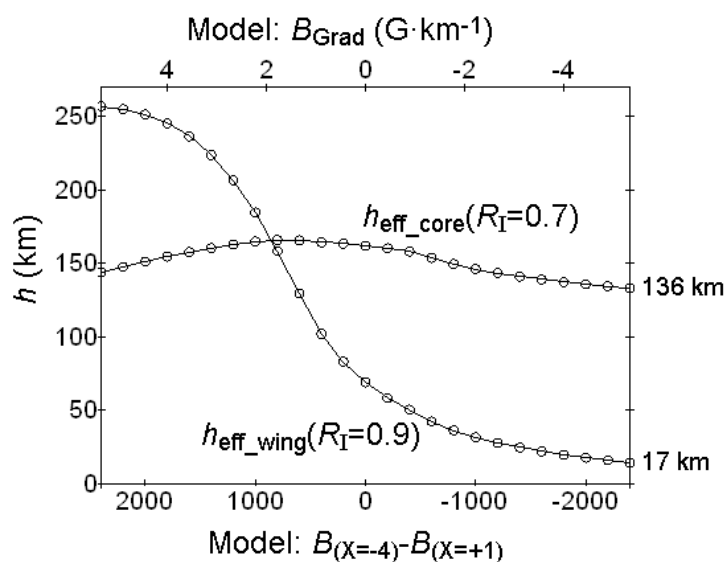


Рис. 1. Эффективные высоты отклика для точек спектральной линии вблизи ядра линии и в ее крыле. При большом значении вертикального градиента магнитного поля (> 2 Гс/км на рисунке) уровень эффективных высот отклика в крыле поднимается выше значений для ядра линии.

Публикация : Можаровский С.Г. О влиянии градиентов магнитного поля и лучевой скорости на эффективные высоты отклика крыльев спектральных линий. // Тр. Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика - 2014», ГАО РАН, СПб., 2014. С. 299-302.

2. По данным о группах солнечных пятен за 130 лет вычислены спектр масштабов и спектр периодов вращения долготной структуры солнечной

активности (рис.2). Характеристики этих спектров свидетельствуют о том, что на большом масштабе времени (несколько 11-летних циклов) поведение долготной структуры солнечной активности управляется стохастическим процессом, который, вероятно, имеет турбулентную природу. При этом флуктуации управляющего процесса производят сравнительно регулярные, но нестабильные структуры распределения групп пятен по долготе с временем жизни ~ 5 лет.

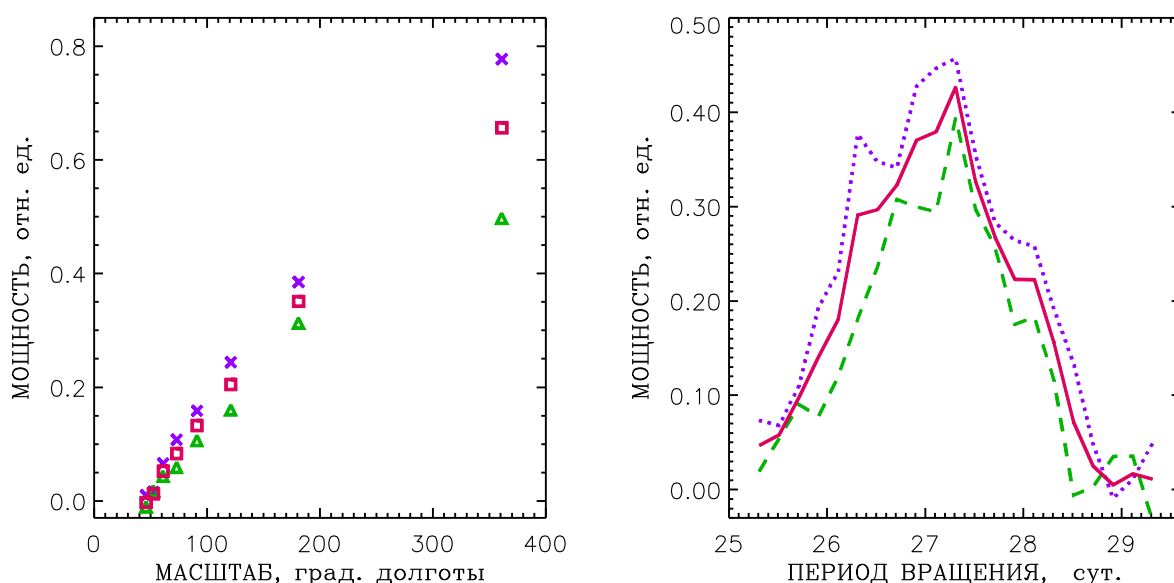


Рис.2 Характеристики долготной структуры солнечной активности: спектр масштабов (слева) и спектр периодов вращения (справа). Зеленый цвет – по данным УАФО ДВО РАН (1956-2010 гг.), синий – по данным Гринвичской обсерватории (1879-1955 гг.), красный – по всем данным.

Публикация : *Ерофеев Д.В.* Долготная структура солнечной активности: регулярное и стохастическое поведение. // Тр. Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика - 2014», ГАО РАН, СПб., 2014г. С.137-140.

Результаты за 2014 г., полученные по тематике секции Солнце в АО УрФУ.

В 2014 г. проведено 105 наблюдений распределения пятен на диске Солнца в оптическом диапазоне (99 с измерениями магнитных полей). Солнечная активность (число пятен и их магнитные поля) отражает широкий затянувшийся максимум текущего цикла. (Г.В.Лямова, Т.П.Никифорова, А.А.Калинин, Н.Д.Калинина, А.И.Шагабудинов).

7 и 8 августа 2013 г. в Коуровской обсерватории УрФУ на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ-5 были проведены ПЗС-наблюдения линий H и K CaII в петельных системах над двумя малоактивными активными областями (AR1790 на восточном и AR1784 на западном лимбе Солнца) в южной полусфере Солнца вблизи экватора. В обеих активных областях практически отсутствовали пятна. Отмечена структурность высвечивания плазмы в петлях: штрихи, а также яркие узлы, в основном одиночные. Измерены доплеровские скорости, соответствующие смещениям, параллельным диску Солнца. На временных промежутках 2-10 минут наблюдались взрывные процессы малой мощности с доплеровскими скоростями до 53-х км/сек. (Т. П. Никифорова, Ю.Р. Хакимова).

Продолжено исследование затменного спектра протуберанца 29.03.06, линии H и K CaII которого в самом начале полной фазы затмения дают пример активной петельной структуры с большим градиентом скорости. Проведено уточнение положения щели на краю Солнца, построены диагностические диаграммы зависимости $\log(n_e)$ от давления и температуры. Полученное значение n_e (10^{11} см^{-3}) неплохо коррелирует с большим значением общего газового давления $p=0.5 \text{ дин/см}^2$, полученного по линиям кальция. Однако степень ионизации водорода при таком n_e должна быть высока, что не согласуется с низкой кинетической температурой. Одной из причин этого расхождения может быть недоучет тонкой структуры протуберанца, приводящей к более низким по сравнению с однородными моделями температурам при одинаковой ионизации (проникновение ионизирующего УФ излучения в тело протуберанца).

В целом полученные параметры плазмы протуберанца ($T=4000 - 5000 \text{ К}$, $p=0.5 \text{ дин/см}^2$, $n_e = 10^{11} \text{ см}^{-3}$) свидетельствуют в пользу модели холодного плотного протуберанца с большой скважностью (А.А.Калинин).

Калинин А.А. Параметры плазмы активного протуберанца 29 марта 2006 года, определенные по УФ затменному спектру // Труды XVIII Всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика – 2014», ГАО РАН, СПб, 2014, сс. 177-180.

Лаборатория Физики Солнца и радиоастрономии Астрономического института им. В.В.Соболева СПбГУ

1. Анализ структуры и эволюции активных областей на Солнце по наблюдениям в сантиметровом диапазоне с привлечением оптических и УФ данных и карт солнечных магнитных полей (МП) на основе кооперативных исследований с участием сотрудников ГАО, CAO, ИСЗФ, VIRAC (Латвия) и других научных организаций. В частности:

- а)** получены первые результаты по исследованию тонкой структуры радиоизображения солнечных пятен по данным **регулярных** наблюдений РАТАН-600. На примере группы NOAA 11899 (13-24).11.2013 г. продемонстрировано, что, несмотря на достаточно широкую ножевую диаграмму, при наблюдении крупных низкоширотных пятен в

период прохождения ими центрального солнечного меридиана на РАТАН-600 возможно **прямое** наблюдение проявления эффектов направленности циклотронного излучения, проявляющееся в подавлении излучения вдоль магнитного поля и приводящее к серпо/кольцеобразным структурам изображения с понижением интенсивности излучения, как в центре пятна, так и на стороне, ближайшей к центру диска Солнца (см. на рис.2 понижение записи РАТАН-скана в центре пятна 19.11, наиболее заметное в О-мод, и изменение направления асимметрии сканов при переходе через меридиан (от 18.11 к 20.11)).

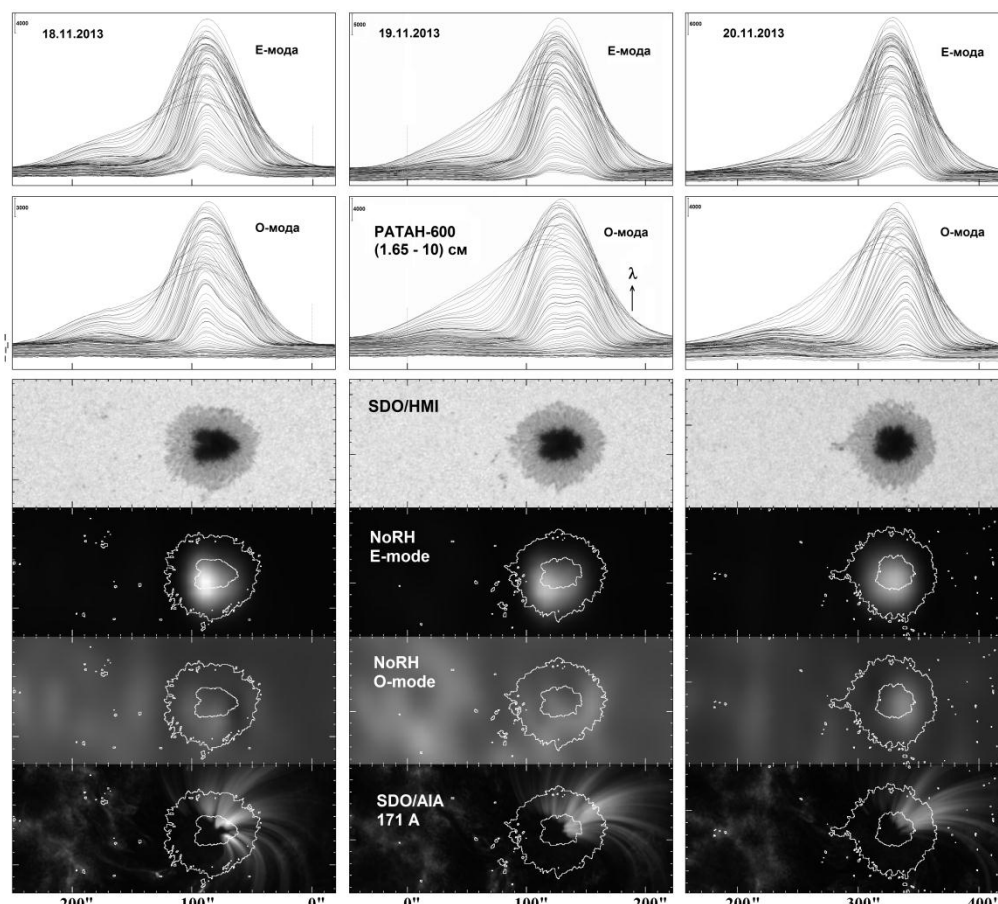


Рис. 2. РАТАН-сканы АО 11899 в диапазоне (1,65 – 10) см по наблюдениям за 3 дня (18-19-20).11.2013 г. вблизи момента прохождения центрального меридиана. Наблюдения на РАТАН-600 сопоставлены с фотогелиограммой SDO/HMI, наблюдениями на интерферометре NoRH в обеих модах (Е и О) излучения и изображением пятна по наблюдениям на SDO/AIA в УФ-диапазоне в линии 171 Å. Изолиниями на картах изображены границы тени и полутени пятна.

Результаты наблюдений не противоречат расчетам радиоизлучения симметричного солнечного пятна, выполненным Гельфрейхом и Лубышевым (АЖ, 1979, т. 56, с. 562), а так же нашим наблюдениям головного пятна активной области NOAA 11140, полученным на РТ-32 (ИПА) во время солнечного затмения 2011 г. (см. отчеты за 2011-2012 гг.). Результаты работы представлены на Всероссийской ежегодной конференции “Солнечная и солнечно-земная физика” [6], (абстракт - [6], труды – [1]). В “Известиях КрАО” вышла статья по наблюдениям солнечного затмения [2].

б) на основе анализа результатов наших исследований 2010-2011 гг. (см. отчеты за 2010-2011 гг.) оценены возможности и перспективы наблюдений радиолитии нейтрального водорода 3,04 см в излучении Солнца на радиотелескопах РТ-22 ФИАН и РТ-32 ИПА, сформулированы требования, предъявляемые к приемной аппаратуре и методике

проведения наблюдений. Результаты представлены на Всероссийской радиоастрономической конференции (ВРК-2014) [3].

Публикации по данной теме:

1. **Топчило Н.А.**, Петерова Н.Г. “Эффект Гельфрейха-Лубышева по наблюдениям активной области NOAA 11899”, Труды XVIII Всероссийской ежегодной конференции с международным участием “Солнечная и солнечно-земная физика 2014”, 20-24 октября 2014 г., ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2014, с.419-422.
2. N.G. Peterova, L.V. Opeikina, and **N.A. Topchilo**, “Halo Sources from Microwave Observations with High Angular Resolution”, Geomagnetism and Aeronomy, 2014, Vol. 54, No. 8, pp. 1053–1057.
3. Н.Г. Петерова, А.Н. Коржавин, **Н.А. Топчило**, “Кольцеобразный источник циклотронного излучения в активной области NOAA 11140 по наблюдениям с высоким разрешением 1 угл. сек”, Изв. КрАО, 2013, т.**109**, №2, с.83-84.
4. В.М.Богод, Н.Г.Петерова, Б.И.Рябов, **Н.А.Топчило**, “О регистрации холодного вещества в области сильного магнитного поля солнечных пятен и истечение плазмы в корону”, Девятая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе» 10-14 февраля 2014г., ИКИ РАН, Сборник тезисов, Москва, 2014, с.4-5.
5. S. Tokhchukova, V. Bogod, N. Peterova, T. Kaltman, E. Kurochkin, **N. Topchilo**, A. Shendrik, “Big solar flares prediction based on RATAN-600 microwave radio observations”, The 40th COSPAR Scientific Assembly, 2-10 August 2014, Moscow, Russia, AbstractCD_COSPAR-14.iso, E2.1-0020-14.pdf.
6. Петерова Н.Г., **Топчило Н.А.**, “Линия нейтрального водорода 3,04 см в излучении Солнца и возможности ее наблюдений на РТ-22 (Пушино)”, Всероссийская радиоастрономическая конференция (ВРК-2014), “Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии”, 22-26 сентября 2014, Тезисы докл., Пушино, с.128.
7. Богод В.М., Петерова Н.Г., **Топчило Н.А.**, “О возможности радиоизмерений магнитного поля в холодных слоях пятен”, XVIII Всероссийская ежегодная конференция с международным участием “Солнечная и солнечно-земная физика 2014”, 20-24 октября 2014 г., Тезисы докл., ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2014, с.21.
8. Богод В.М., Кальтман Т.И., Коржавин А.Н., Курочкин Е.А., Петерова Н.Г., Свидский П.М., **Топчило Н.А.**, Тохчукова С.Х., Шендрик А.В., “Прогноз мощных солнечных вспышек на основе микроволновых наблюдений РАТАН-600”, XVIII Всероссийская ежегодная конференция с международным участием “Солнечная и солнечно-земная физика 2014”, 20-24 октября 2014 г., Тезисы докладов, ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2014, с.65-66.
9. **Топчило Н.А.**, Петерова Н.Г., “Эффект Гельфрейха-Лубышева по наблюдениям активной области NOAA 11899”, XVIII Всероссийская ежегодная конференция с международным участием “Солнечная и солнечно-земная физика 2014”, 20-24 октября 2014 г., Тезисы докладов, ГАО РАН, Санкт-Петербург, 2014, с.101-102.

Доклады на конференциях:

1. В.М.Богод, Н.Г.Петерова, Б.И.Рябов, **Н.А.Топчило**, “О регистрации холодного вещества в области сильного магнитного поля солнечных пятен и истечение плазмы в корону”, Девятая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе» 10-14 февраля 2014г., ИКИ РАН, (Устный доклад).
2. S. Tokhchukova, V. Bogod, N. Peterova, T. Kaltman, E. Kurochkin, **N. Topchilo**, A. Shendrik, “Big solar flares prediction based on RATAN-600 microwave radio observations”, The 40th COSPAR Scientific Assembly, 2-10 August 2014, Moscow, Russia, (Стеновый доклад).
3. Петерова Н.Г., **Топчило Н.А.**, “Линия нейтрального водорода 3,04 см в излучении Солнца и возможности ее наблюдений на РТ-22 (Пушино)”, Всероссийская

радиоастрономическая конференция (ВРК-2014), "Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии", 22-26 сентября 2014, (*Устный доклад*).

4. Богод В.М., Петерова Н.Г., **Топчило Н.А.**, "О возможности радиоизмерений магнитного поля в холодных слоях пятен", XVIII Всероссийская ежегодная конференция с международным участием "Солнечная и солнечно-земная физика 2014", 20-24 октября 2014 г., (*Устный доклад*).
5. Богод В.М., Кальтман Т.И., Коржавин А.Н., Курочкин Е.А., Петерова Н.Г., Свидский П.М., **Топчило Н.А.**, Тохчукова С.Х., Шендрик А.В., "Прогноз мощных солнечных вспышек на основе микроволновых наблюдений РАТАН-600", XVIII Всероссийская ежегодная конференция с международным участием "Солнечная и солнечно-земная физика 2014", 20-24 октября 2014 г., (*Устный доклад*).
6. **Топчило Н.А.**, Петерова Н.Г., "Эффект Гельфрейха-Лубышева по наблюдениям активной области NOAA 11899", XVIII Всероссийская ежегодная конференция с международным участием "Солнечная и солнечно-земная физика 2014", 20-24 октября 2014 г., (*Устный доклад*).

2. Исследование солнечной хромосферы по ее миллиметровому излучению.

С использованием современной трехмерной МГД-радиационной модели солнечной атмосферы, охватывающей все слои от конвективной зоны до короны (BIFROST, *Gudiksen et al. 2011*) и описывающей атмосферу области усиленной магнитной сетки спокойного Солнца (enhanced network) рассчитаны спектры яркостных температур в диапазоне 0.1-20 мм в предположении теплового тормозного и магнитнотормозного механизмов генерации излучения. Особое внимание было обращено на возможность диагностики тепловой структуры хромосферы и диагностики магнитного поля на уровне хромосферы по ее мм и субмм излучению. Выполнены оценки поля на хромосферных высотах, используя поляризацию теплового тормозного излучения в атмосфере с градиентом температуры. Сделан вывод о том, миллиметровая радиояркость является надежной диагностикой температуры солнечной плазмы в слое, соответствующем эффективной высоте генерации излучения данной длины волны. Подтверждена потенциальная возможность томографии хромосферных слоев при помощи многоволновых наблюдений на интерферометре нового поколения ALMA. Полученные для миллиметровых волн оценки радиояркости и их вариации, оценки напряженности магнитного поля на разных высотах, используются для моделирования будущих наблюдений Солнца на интерферометре ALMA. Результаты этих исследований были доложены на ряде международных конференций этого года.

Публикации по теме:

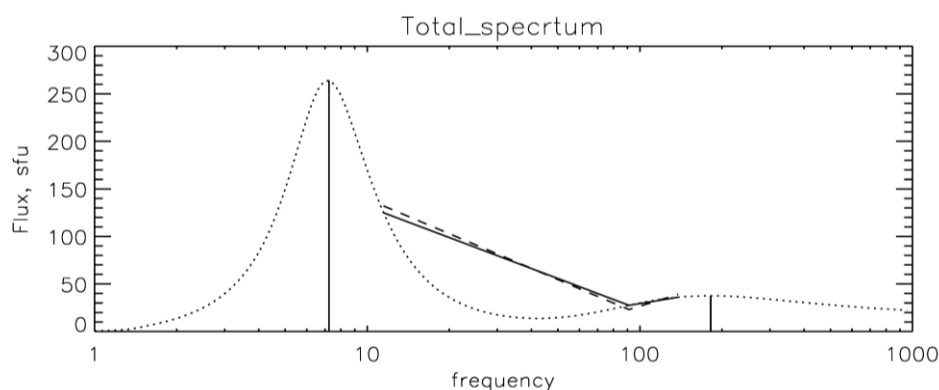
1. **Loukitcheva M.**, Solanki S., White S. "The chromosphere above sunspots at millimeter wavelengths". 2014, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 561, 133-141.
2. **Loukitcheva M.**, Solanki S., White S., Carlsson M. "Millimeter radiation from a three-dimensional model of the solar atmosphere. I. Diagnosing chromospheric thermal structure". Принята к публикации в *Astronomy & Astrophysics*

в). Исследование субтерагерцовой компоненты микроволновых всплесков.

Совместно с сотрудниками ГАО и КрАО продолжалось исследование природы миллиметрового (субтерагерцового) радиоизлучения солнечных всплесков. На примере уникального наблюдения всплеска 04.07.2012 на радиотелескопе РТ-7.5 МГТУ на частотах 93 и 140 ГГц было выполнено численное моделирование спектра всплеска в предположении, что излучение всплеска в микроволновом (сантиметровом) диапазоне определяется гиросинхротронным механизмом генерации в высокотемпературной плазме корональной части вспышечной петли, в то время, как излучение субтерагерцовой

компоненты определяется тепловым тормозным механизмом, действующим в низкотемпературной плазме в основании петли. Для моделирования спектра был использован код Флейшмана-Кузнецова (GS-code). Расчетный спектр (см. рисунок) хорошо соответствует наблюдавшимся значениям плотности потока радиоизлучения. Недавно полученные нами данные о наблюдениях радиоизлучения этого всплеска на сантиметровых волнах на ГАС ГАО РАН, любезно предоставленные А.Шрамко, не противоречат сделанным расчетам и будут использованы в дальнейшем для уточнения параметров моделирования.

Полученные результаты можно рассматривать как аргумент в пользу гипотезы о различных частях вспышечной области, ответственных за субтерагерцовую компоненту спектра, по крайней мере, для всплесков умеренной мощности (рассматриваемый всплеск имеет класс M5.3)



Результаты работы были представлены, в частности, на конференции:

V.Smirnova, Yu.Tsap, A.Morgachev, G.Motorina, T.Kontar, V.Nagnibeda, P.Strekalova.
 “The interpretation of subTHz emission of the solar flare 04.07.2012 at 100-200 GHz range”.
 14th European Solar Physics Meeting, Trinity College, Dublin, Ireland, September 2014.

Зав. лаб., доцент

В.Г. Нагнибеда

01 декабря 2014 года

Научно-исследовательский институт «Крымская астрофизическая обсерватория»

1. Высокоэнергичные процессы на Солнце

Продолжено исследование самой мощной рентгеновской вспышки 24 цикла солнечной активности 9 августа 2011г.

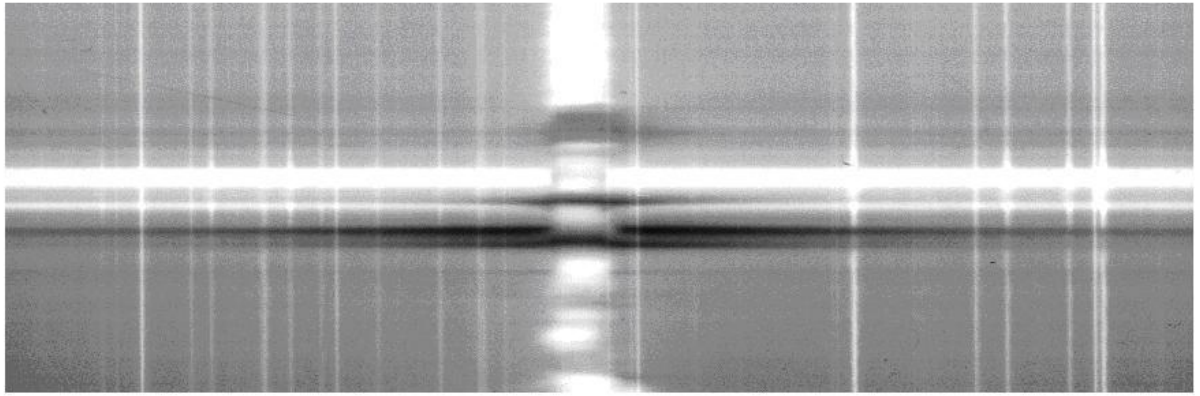


Рис.1. Спектр вспышки 9 августа 2011г. в области линии Н-альфа.

Изучались морфологические и эволюционные характеристики вспышки в Н-альфа, микроволновом и рентгеновском излучении. Получены следующие результаты:

- В развитии вспышки четко прослеживаются постепенный и импульсный компоненты в изучаемых энергетических диапазонах. Каждому всплеску микроволнового и рентгеновского излучения соответствует изменение яркости или структуры существующих Н-альфа ядер вспышки, или возгорание новых. Вариации яркости Н-альфа ядер происходили на такой же временной шкале как и микроволновые и рентгеновские всплески, и пики на кривых развития совпадают по времени.
- Сравнение положения источников рентгеновского излучения в активной области во время двух самых мощных всплесков с хромосферной морфологией вспышки показало, что источники разных (по времени) всплесков локализованы в разных местах вспышки: реализация энергии в течение двух всплесков происходила в разных магнитных петлях.
- Энергетический спектр рентгеновского излучения заметно отличается для двух всплесков.

Можно сделать вывод, что вспышка происходила в несколько стадий, каждая из которых различалась по положению в активной области, времени и энергетическому спектру. Возможно, разные механизмы реализации энергии могут действовать во время разных фаз развития вспышки.

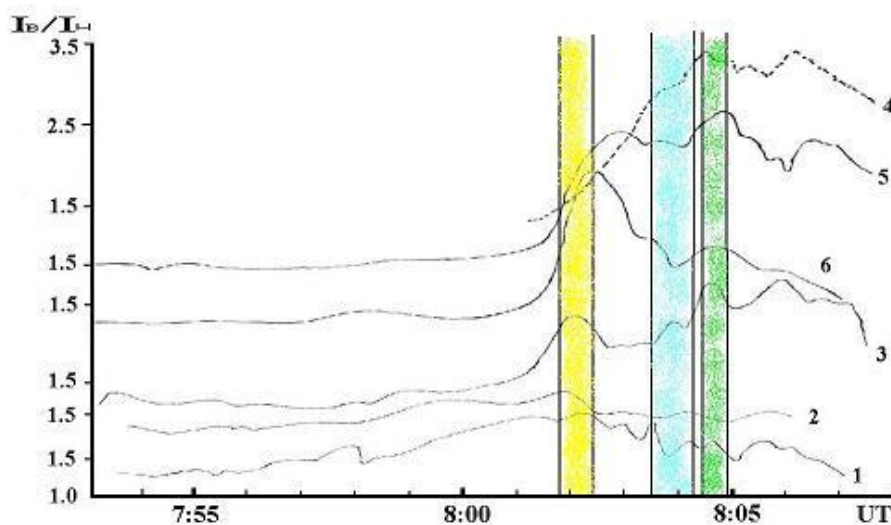


Рис.2. Световые кривые нескольких вспышечных ядер и моменты трех микроволновых всплесков

(А.Н. Бабин, А.Н. Коваль,

A. N. Babin, A. N. Koval'. Observational characteristics of the white-light flare of August 9, 2011 //Bulletin of the Crimean Astrophysical observatory, 2014, V.110, issue 1, PP. 105-113)

- На основании наблюдаемой интенсивности континуума в области 6579Å, профилей линии Н-альфа и фотосферных линий железа рассчитаны модели белой вспышки 9 августа 2011г. в предимпульсный период (второй тип) и четырех ядер непрерывного излучения для разных моментов во время импульсной фазы вспышки (первый тип).

Объяснить наблюдаемые особенности профилей Н-альфа, линий железа и интенсивности непрерывного излучения невозможно в предположении, что непрерывное излучение образуется только в хромосфере. Для согласования вычисленных и наблюдаемых профилей и величины непрерывной эмиссии необходимо увеличение температуры, как в хромосфере, так и в фотосфере. Во время вспышки прогреваются более глубокие и более плотные слои хромосферы. Существенно увеличивается температура в нижней хромосфере и на 200-500 градусов в отдельных слоях фотосферы (достаточно высоких). Ход плотности с глубиной немонотонный - образует конденсации с увеличением плотности на 1-1.5 порядка. Для второго импульсного всплеска можно отметить более глубокий прогрев хромосферы. Температура в нижней фотосфере уменьшается со временем. Для согласования вычислений и наблюдений непрерывного излучения в предимпульсной фазе нужно разместить нагретый слой в фотосфере на большей глубине.

(А.Н. Бабин, Э.А. Барановский, А.Н. Коваль)

-В результате исследования активной области 11890, наблюдавшейся в ноябре 2013, установлено, что по изменению формы и высоты систем арочных волокон можно судить о развитии магнитной конфигурации активной области и ее вспышечной активности.

(А.Н. Шаховская)

-Показано, что нет явной корреляции между количеством, или общей площадью пятен в группе, с количеством и мощностью вспышек, наблюдаемых в активной области.

Одним из важных факторов, определяющих вспышечную активность группы пятен, является взаимодействие ее с другими активными областями посредством связи магнитных полей в фотосфере или корональных структур с образованием комплексов активности.

Найдено, что с начала 24 цикла активности Солнца только около 25% активных областей с δ -конфигурацией магнитного поля продуцировали вспышки класса X.

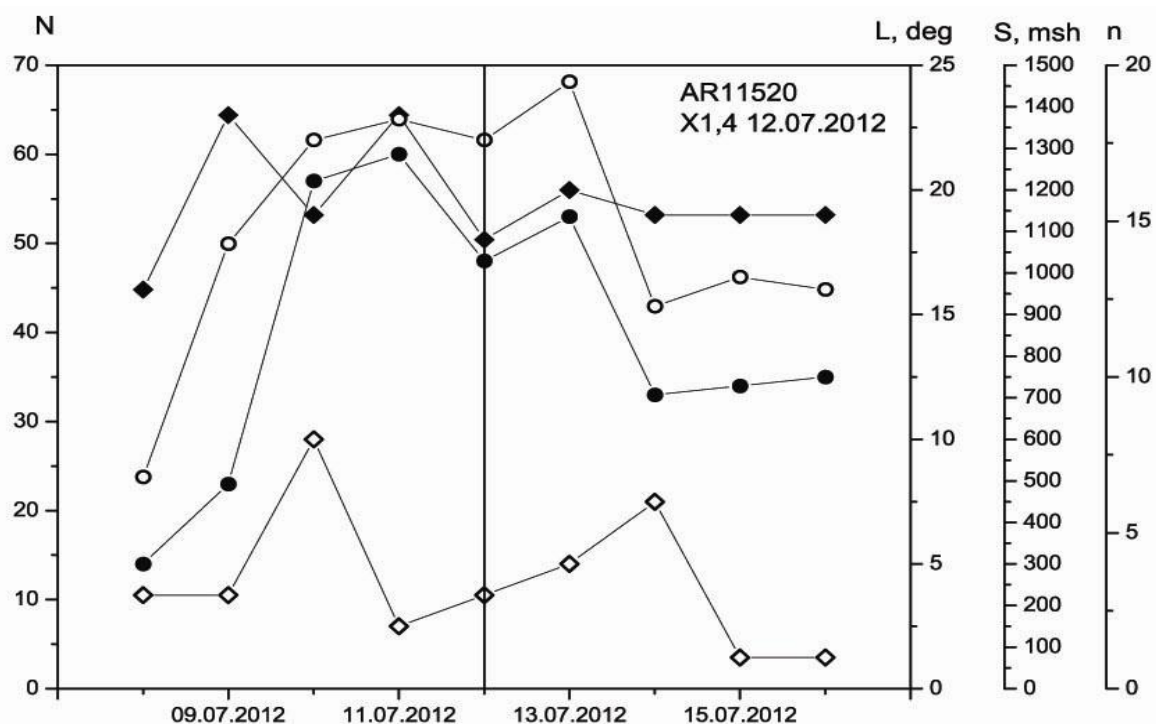


Рис.3. Динамика развития активных областей со вспышечной активностью класса X. Рассмотрены изменения количества пятен (кривые с залитыми кружками), общей площади пятен в группе (кривая с открытыми кружочками), долготной протяженности (кривые с залитыми ромбиками) и общего количества вспышек в активной области (кривая с открытыми ромбами). Вертикальные линии на графиках отмечают день, в который была зафиксирована вспышка класса X.

(Ю.А. Фурсяк,

Yu. A. Fursyak X-Class Flares in the 24th Solar Activity Cycle: Preflare and Postflare Conditions in the Active Region: Part 1. Analysis Criteria and General Comments // Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory, 2014, Vol. 110, pp. 125–131.)

2. Солнечные образования

-Величины содержания различных элементов в атмосферах звезд используются при изучении эволюции звезд. При этом литий играет очень существенную роль.

Содержание лития чувствительно к температуре при сравнительно низких значениях - около 2.6 млн. град. Поэтому величина содержания лития очень чувствительна к различным параметрам звездных атмосфер. Определение содержания лития в атмосферах звезд дает возможность уточнять строение атмосфер и конвективной зоны и уточнять пути эволюции звезд.

Однако, имеется много нерешенных проблем. Так, теория нуклеосинтеза предсказывает втрое большее количество изотопа ${}^7\text{Li}$ во Вселенной, чем следует из наблюдений. Имеется противоречие между теорией нуклеосинтеза и данными о распространенности легких элементов. Наблюдается различная величина содержания лития у звезд с одинаковым возрастом, металличностью и массой. Это говорит о том, что существуют неизвестные механизмы разрушения и образования атомов лития.

Проблема лития актуальна и для Солнца. Величина содержания лития на Солнце на два порядка меньше величины содержания в космосе, например, в метеоритах. Такое низкое содержание не объясняется современными моделями строения внутренних областей Солнца. Температура в конвективной зоне недостаточно высокая для выгорания

лития. По-видимому, существуют какие-то неизвестные процессы, вызывающие уменьшение количества лития.

Определение содержания лития делается обычно по наблюдениям в области линии 6707.8 Å. В спектре Солнца для невозмущенных областей линия 6707.8 Å очень слабая, поэтому определение содержания лития на Солнце делается обычно по спектрам солнечных пятен. Вследствие низкой температуры в тени пятна степень ионизации лития уменьшается, и интенсивность линии 6707.8 Å существенно увеличивается.

Определение содержания лития по спектрам солнечных пятен сделано в работах разных авторов, начиная с 1956 года. Всего около 10 определений. Все они сделаны по наблюдениям линии Li I 6708 Å в ЛТР приближении. Моменты наблюдений спектров пятен относятся к разным фазам солнечного цикла. Оказалось, что самые большие значения содержания Li получены вблизи минимумов циклов, а малые значения – вблизи максимумов.

На рис.4 показана зависимость величины содержания лития от интервала времени между моментом наблюдения и моментом ближайшего максимума. Рисунок взят из нашей предыдущей публикации.

Для проверки реальности обнаруженной закономерности мы продолжили мониторинг наблюдений спектров солнечных пятен в области линии лития 6708 Å. Здесь мы представляем результаты расчетов по наблюдениям в августе 2014 года. Были получены спектры в области линии 6707.8 Å для двух пятен – 22 августа и для 4 пятен – 26 августа. Наблюдения проведены с ПЗС-камерой на телескопе БСТ-2 НИИ «КрАО».

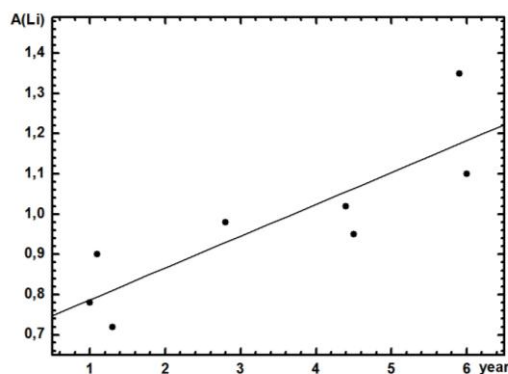


Рис.4 Величина содержания лития в разные годы наблюдений. По оси абсцисс – интервал времени между моментом наблюдения и моментом ближайшего максимума. Наблюдения разных авторов 1956 – 2011 годы.

Для каждого пятна было обработано несколько спектров, полученных с интервалом в несколько минут. Измерены эквивалентные ширины линий железа и кальция, по которым рассчитывались модели пятен. Далее с помощью моделей пятен рассчитывались эквивалентные ширины линии лития 6708 Å и сравнивались с наблюдаемыми эквивалентными ширинами этой линии. Из такого сравнения мы получаем величину содержания лития, которая дает наилучшее согласие вычисленных и наблюдаемых эквивалентных ширин. Эта величина и принимается за искомую величину содержания.

Результаты определения величины содержания по отдельным спектрам усреднялись. Окончательный результат $\log(A(\text{Li})) = 1.2$ для пятна 26 08 2014.

Обработаны также спектры пятна, наблюдавшегося 8.10.2011; рассчитанное значение содержания $\log(A(\text{Li})) = 1.02$.

Сравнение всех результатов разных лет показано на рис.2. Здесь по оси абсцисс – числа Вольфа во время наблюдений спектров, по оси ординат – величина содержания лития.

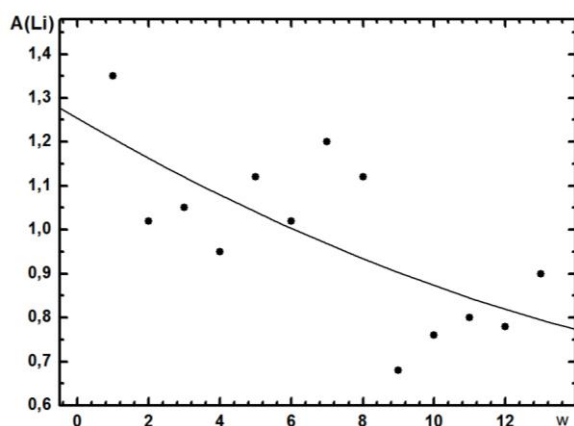


Рис. 5 Зависимость величины содержания лития от уровня солнечной активности (W).

Мы видим, что отмеченная в начале тенденция в поведении лития сохраняется – в периоды большей активности пятнообразования содержание лития меньше.

При определении содержания лития по спектрам солнечных пятен обязательным шагом является расчет моделей пятен. Модели рассчитывались по линиям железа и кальция, расположенным вблизи линии лития 6708 Å. Результат расчета моделей зависит от принятой величины рассеянного света в пятне, который входит в расчеты как свободный параметр. Приблизительно рассеянный свет оценивался по снимкам края солнечного диска.

Некоторые из полученных моделей пятен показаны на рис.3 вместе с моделью Колладос (Collados M. 1994 A&A, 291.622). Все модели имеют одинаковый температурный градиент в средней и верхней фотосфере и различаются только величиной температуры. Величина рассеянного света составляла 15-20 %. Плотность в наших моделях ниже плотности невозмущенной фотосферы и плотности в модели Колладос в 2-8 раз.

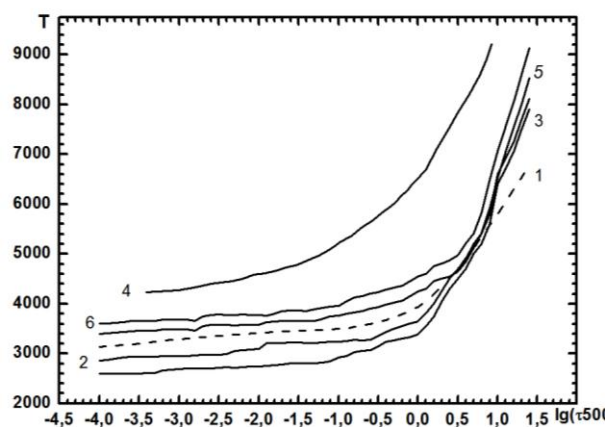


Рис.3 Температура в моделях пятен, 4- невозмущенная, 1- модель Колладос.

(Э.А. Барановский, В.П. Таращук,

E.A. Baranovsky, S.A. Musorina, V.P. Tarashchyuk. A method for the determination of the lithium abundance in sunspots: Observations for 2011. //Bulletin of the Crimean Astrophysical observatory, 2014, V.110, issue 1, PP. 85-89)

-Используя наблюдения, полученные с помощью спектрополяриметра *Hinode*/SOT, были исследованы магнитная структура и эволюция пятен активной области NOAA 10930. Исследования показали, что оба пятна активной области, большое отрицательной полярности и малое положительной полярности, вращались. Вращение пятен привело к закручиванию силовых линий магнитного поля, о чем свидетельствует существование азимутальной компоненты магнитного поля

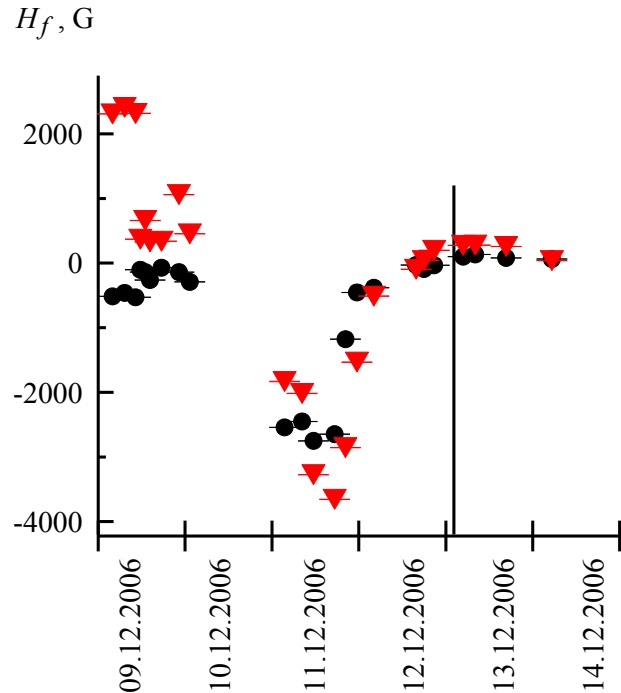


Рис.6. Эволюция азимутальной составляющей магнитного поля со временем для обоих пятен активной области NOAA 10930: (●) – большого пятна отрицательной полярности и (▼) – малого пятна положительной полярности. Показана величина вероятной ошибки. Вертикальной линией отмечено время максимальной фазы вспышки балла X3.4.

Магнитное поле обоих пятен было закручено в одном направлении – азимутальные составляющие обоих пятен имели отрицательный знак, что подтверждает полученные ранее результаты (Su, J.T., Sakurai, T., Suematsu, Y., et al. *Astrophys. J.* 697, L103-L107, 2009). Оба пятна, в основном, имели отрицательную спиральность. Максимальных значений отрицательная спиральность достигла 05:00 UT, 11 декабря 2006. Вертикальный электрический ток, который возник в результате вращения пятен и закручивания силовых линий магнитного поля, протекал в одном направлении.

Угол скручивания магнитной трубки, образовавшей на поверхности Солнца большое пятно отрицательной полярности, отнесенный к длине трубки, ϕ/l , составил $3.8 \times 10^{-3} \text{ }^\circ/\text{км}$. Для малого пятна положительной полярности величина ϕ/l оказалась в шесть раз большей – $2.4 \times 10^{-2} \text{ }^\circ/\text{км}$.

(О.С. Гопасюк,

O. S. Gopasyuk. The rotation of sunspots in the solar active region NOAA 10930
//Bulletin of the Crimean Astrophysical observatory, 2014, V.110, issue 1, PP. 90-94)

-Проведена фотометрическая обработка монохроматических изображений Солнца в линиях Н-альфа и HeI в области волокон. Получен диапазон изменения интенсивности в центрах волокон и в каналах под ними, а также интенсивности лежащих под волокнами флоккулов. Найдено, что на уровне верхней хромосферы (наблюдения в линии HeI) каналы волокон всегда ярче невозмущенных областей. В нижней хромосфере (наблюдения в Н-альфа) каналы бывают как ярче, так и темнее невозмущенных областей. Часто под волокнами в Н-альфа наблюдаются флоккулы. В линии He флоккулы под волокнами отсутствуют. На рис. представлены интенсивности ярких полосок под волокнами в линии He и соответствующие этим же местам интенсивности в линии Н-альфа. Материал подготовлен для определения моделей волокон и каналов волокон.

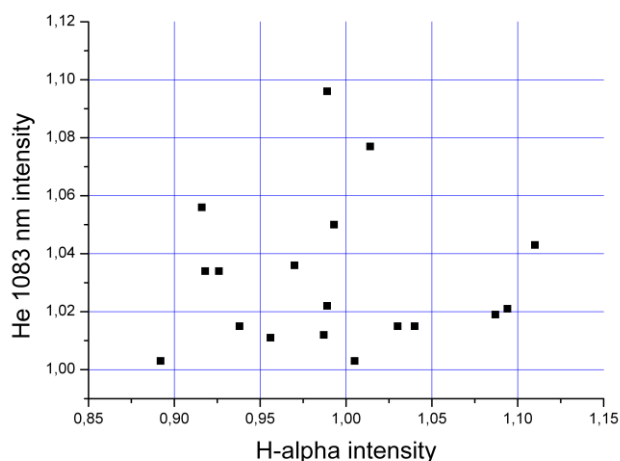


Рис.7 Интенсивности ярких полосок под волокнами в линии HeI1083 нм и соответствующие этим же местам интенсивности в линии H-альфа.

(Н.Н. Степанян, Н.И. Штерцер

N.N. Stepanian, N.I. Shtertser. Polar coronal holes in solar activity cycle // Advances in Space Research, 2014,)

3. Солнечные магнитные поля разных пространственных масштабов

-По магнитным наблюдениям Солнца в 21-23 циклах солнечной активности определены суммарные и результирующие магнитные потоки в десятиградусных широтных зонах каждого оборота Солнца на пяти высотах. Найдено, что скорости изменения этих потоков имеют хорошо выраженные периоды изменения 5 – 6 оборотов Солнца.

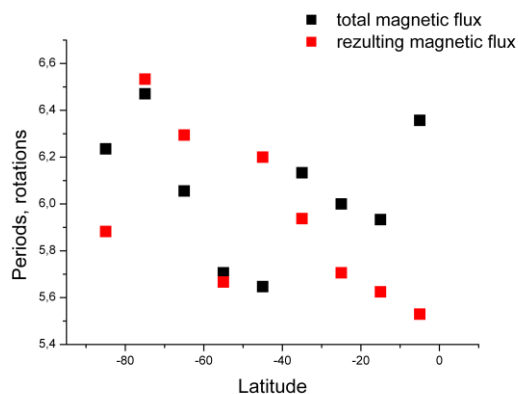


Рис.8 Периоды изменения скорости суммарного и результирующего потоков магнитного поля на уровне фотосферы в S-полусфере в 21 цикле солнечной активности

(Н.Н. Степанян, О.А. Андреева.).

-На основе измерений общего магнитного поля Солнца (ОМП) за последние 46 лет (1968-2013 гг.) и резонансных соотношений Солнечной системы определён сидерический период вращения Солнца как магнитной звезды: 25.129(9) сут. Обнаружено, однако, что после 2000 г. произошёл сбой вращения поля: когерентность распалась, уступив место хаотическим вариациям с квази-периодами 24.6–25.4 сут. Явление связывается с сильной аномалией текущего цикла 24, косвенно вызвавшей, по-видимому, глобальное изменение климата Земли (с неизвестным механизмом влияния). Особый интерес вызывает тесный резонанс между магнитным вращением Солнца с синодическим периодом около 27 сут и орбитальным движением Земли, что может служить основой для объяснения около-двух-годовых вариаций геомагнитного поля. Сделан вывод, что для успешного

климатического контроля требуется тщательный и регулярный «ОМП-контроль».

(В.А Котов)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ – МГД МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ РЕАЛЬНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ И АНАЛИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

¹И. М. Подгорный, ²А. И. Подгорный

¹Институт астрономии РАН, г. Москва

²Физический институт РАН им. П. Н. Лебедева, г. Москва

ОТЧЕТ 2014

УСКОРЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ.

Проведен первый этап анализа измерений ускоренных во вспышках протонов на аппарате GOES. Анализ направлен на выяснение механизмов ускорения и распространения протонов с энергией в 10 – 100 МэВ во время вспышек. Исследована асимметрия прихода к магнитосфере Земли протонов от вспышек, происшедших на западе и востоке солнечного диска. На рис. 1 показаны типичные данные о потоке протонов от западной и восточной вспышек. Так называемая быстрая компонента, которая начинает регистрироваться через ~20 мин после фронта рентгеновского излучения, приходит только от западных вспышек (Рис. 1А) – это протоны, распространяющиеся вдоль линий поля спирали Архимеда и приходящие к магнитосфере Земли с пролетными временами. Это значит, что протоны быстрой компоненты не

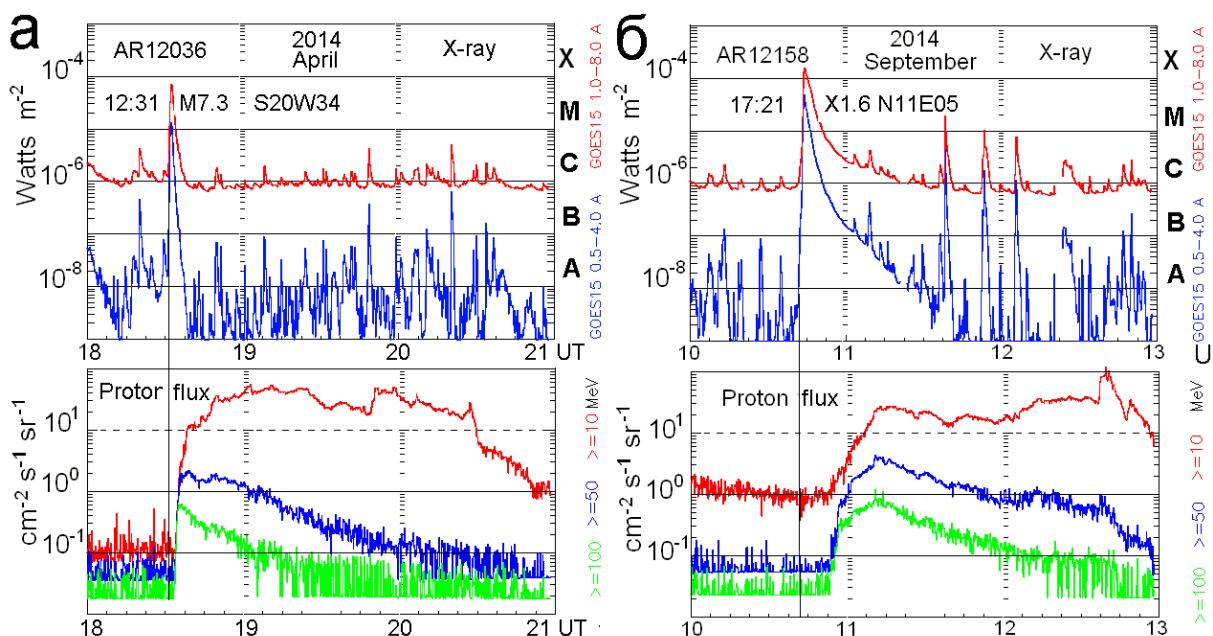


Рис. 1. Типичные данные для потока протонов, пришедшего с пролетным временем от западной вспышки, и типичный запаздывающий поток от восточной вспышки.

ПРЕТЕРПЕВАЮТ РАССЕЯНИЯ ПО ПУТИ К МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И НЕСУТ ИНФОРМАЦИЮ О МЕХАНИЗМЕ УСКОРЕНИЯ. БЫСТРАЯ КОМПОНЕНТА ОБЛАДАЕТ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМ СПЕКТРОМ, ГЕНЕРИРУЕМЫМ, КАК ПОКАЗАЛИ РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ПРИ УСКОРЕНИИ ПОЛЕМ ЛОРЕНЦА ВОДОЛЬ ОСОБОЙ Х-ЛИНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОКОВОГО СЛОЯ. РАСЧЕТНЫЙ И

ИЗМЕРЕННЫЙ ПО ПОКАЗАНИЯМ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ СПЕКТРЫ БЫСТРОЙ КОМПОНЕНТЫ СОВПАДАЮТ ПРИ СКОРОСТИ ПЕРЕСОЕДИНЕНИЯ 2×10^7 см/с. БЫСТРУЮ КОМПОНЕНТУ СОПРОВОЖДАЕТ ЗАПАЗДЫВАЮЩИЙ ПОТОК ПРОТОНОВ, КОТОРЫЙ ДЛИТСЯ БОЛЕЕ СУТОК. ЗАПАЗДЫВАНИЕ ВОЗРАСТАЕТ С УМЕНЬШЕНИЕМ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ. ЧАСТИЦЫ С ЭНЕРГИЕЙ ~ 10 МЭВ (СКОРОСТЬ $\sim 5 \times 10^9$) ПРОДОЛЖАЮТ ПОСТУПАТЬ ЧЕРЕЗ ДВОЕ СУТОК, ОНИ РАСПРОСТРАНЯЮТСЯ В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ СО СКОРОСТЬЮ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА.

ФРОНТ ПРИХОДА ПРОТОНОВ ОТ ВСПЫШЕК, ПРОИСШЕДШИХ В ВОСТОЧНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЯХ СОЛНЕЧНОГО ДИСКА, ЗАПАЗДЫВАЕТ НА 5 – 10 ЧАСОВ (Рис. 1б), т. е. БЫСТРАЯ КОМПОНЕНТА ПРОТОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ТАКИХ ВСПЫШЕК НЕ РЕГИСТРИРУЕТСЯ. ПРИХОД К ЗЕМЛЕ ПРОТОНОВ ОТ ВСПЫШЕК В ЦЕНТРЕ И НА ВОСТОКЕ СОЛНЕЧНОГО ДИСКА МОЖЕТ ПРОИСХОДИТЬ ТОЛЬКО ПОПЕРЕК ЛИНИЙ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ. ЭТО ЗАПАЗДЫВАНИЕ ПРИХОДА ФРОНТА ПОТОКА ПОЧТИ НА ПОРЯДОК МЕНЬШЕЕ, ЧЕМ ВРЕМЯ ДРЕЙФА ПРОТОНОВ ПОПЕРЕК ПОЛЯ СО СКОРОСТЬЮ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА. ПО-ВИДИМОМУ, СКОРОСТЬ ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗРАСТАЕТ ИЗ-ЗА ДИФфуЗИИ ПРИ РАССЕЯНИИ НА НЕОДНОРОДНОСТЯХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ. ПРИ ЭТОМ ПРОИСХОДИТ ЭВОЛЮЦИЯ СПЕКТРА. ЗАПАЗДЫВАЮЩИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ПРОТОНЫ ОБЛАДАЮТ СТЕПЕННЫМ СПЕКТРОМ. ПРИЧИНОЙ ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКТРА МОЖЕТ БЫТЬ РАССЕЯНИЕ НА МАГНИТНЫХ ФЛУКТУАЦИЯХ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПОКАЗЫВАЮТ, ЧТО БЫСТРАЯ И ЗАПАЗДЫВАЮЩАЯ КОМПОНЕНТЫ ПРОТОНОВ ГЕНЕРИРУЮТСЯ ВО ВСПЫШКЕ, И ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ НЕ СВЯЗАНО С УДАРНОЙ ВОЛНОЙ ПЕРЕД ВЫБРОСОМ КОРОНАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ, КАК СЧИТАЕТСЯ МНОГИМИ АВТОРАМИ. ЭТИ ИССЛЕДОВАНИЯ БУДУТ ПРОДОЛЖЕНЫ В 2015 г.

ХАРАКТЕР ПОТОКОВ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ОТ ЗАПАДНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ВСПЫШЕК, ПОКАЗАННЫХ НА РИС. 1, МОЖЕТ БЫТЬ НАРУШЕН. ЕСЛИ ПРОТОННАЯ ВСПЫШКА ПРОИЗОШЛА ПОСЛЕ МОЩНЫХ ВЫБРОСОВ КОРОНАЛЬНОЙ МАССЫ, ТО ВОЗМОЖНО ИСКАЖЕНИЕ УСТАНОВИВШЕЙСЯ КОНФИГУРАЦИИ ЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТИПА СПИРАЛИ АРХИМЕДА. ТАКОЕ РЕДКОЕ СОБЫТИЕ ПОКАЗАНО НА РИС.2.

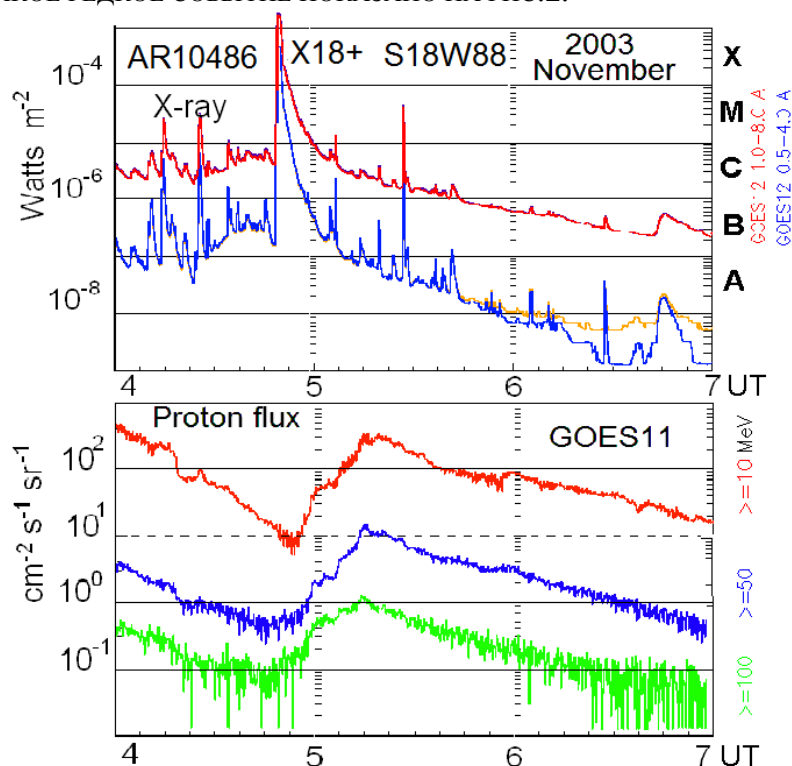


Рис. 2. Потоки протонов, от вспышки произошедшей вблизи от западного лимба ПОСЛЕ СЕРИИ БОЛЬШИХ ВСПЫШЕК И КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ.

УНИКАЛЬНЫЙ СЛУЧАЙ ПРЕДСТАВЛЕН НА РИС. 2. ПОТОК ПРОТОНОВ ОТ ЗАПАДНОЙ ВСПЫШКИ ПРИШЕЛ С ОЧЕНЬ ПОЛОГИМ ФРОНТОМ. ПРОТЯЖЕННОСТЬ ФРОНТА ~ 12 ч БОЛЕЕ, ЧЕМ

НА ДВА ПОРЯДКА ВЕЛИЧИНЫ ПРЕВЫШАЕТ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ОБЫЧНО НАБЛЮДАЕМЫХ ФРОНТОВ ПРОТОНОВ ОТ ЗАПАДНЫХ ВСПЫШЕК. СОБЫТИЕ ЭТО ПРОИЗОШЛО ПОСЛЕ СЕРИИ БОЛЬШИХ ВСПЫШЕК И КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ. ЛИНИИ, СОЕДИНЯЮЩИЕ ВСПЫШКУ С МАГНИТОСФЕРОЙ, МОГЛИ СИЛЬНО ИСКАЗИТЬСЯ, И ЛИШЬ НЕБОЛЬШАЯ ЧАСТЬ ЧАСТИЦ МОГЛА СРАЗУ ПОПАСТЬ НА ЛИНИЮ ПОЛЯ СПИРАЛИ АРХИМЕДА, ИДУЩУЮ К МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА В ПРЕДВСПЫШЕЧНОМ СОСТОЯНИИ И СРАВНЕНИЕ ЕЕ С ДИНАМИКОЙ КРУПНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ, НЕ ВЫЗВАВШИХ ВСПЫШКУ.

Выполнено исследование динамики магнитного потока и распределения магнитного поля в ряде активных областей, давших большие (класса X) вспышки. Для определения магнитного потока вычислялось распределение нормальной к фотосфере составляющей магнитного поля, используя измерения компоненты поля вдоль луча зрения на аппаратах SOHO (<http://soi.stanford.edu/magnetic/index5.htm>) и SDO (<http://jsoc.stanford.edu/ajax/lookdata.html>). Использование непосредственно измеряемой компоненты фотосферного поля для вычисления потока неприемлемо, т. к. величина этой компоненты зависит от положения активной области на диске. Нормальная составляющая фотосферного поля вычислялась в потенциальном приближении. Исследовано поведение поля в предвспышечном состоянии активных областей, вызвавших солнечные вспышки класса X, и проведено сравнение с поведением поля в интервалах времени спокойного развития активных областей без вспышек. Показано, что критическое значение магнитного потока для возникновения большой вспышки 10^{22} Мкс, установленное в наших ранее опубликованных работах, является необходимым для возникновения вспышек, но не достаточным. Вспышки возникают только над областями, имеющими сложное распределение источников магнитного поля с внедрением источников одного знака в магнитное поле другого знака. Такое распределение фотосферных источников создает над активной областью сложную конфигурацию линий поля с особыми линиями X-типа. В окрестности таких особых линий могут формироваться токовые слои, в магнитном поле которых может запасаться энергия, необходимая для вспышки. Простые дипольного типа активные области, состоящие из одного северного и одного южного пятен, магнитные линии над которыми имеют только арочную форму и отсутствуют особые линии, не вызывают вспышек.

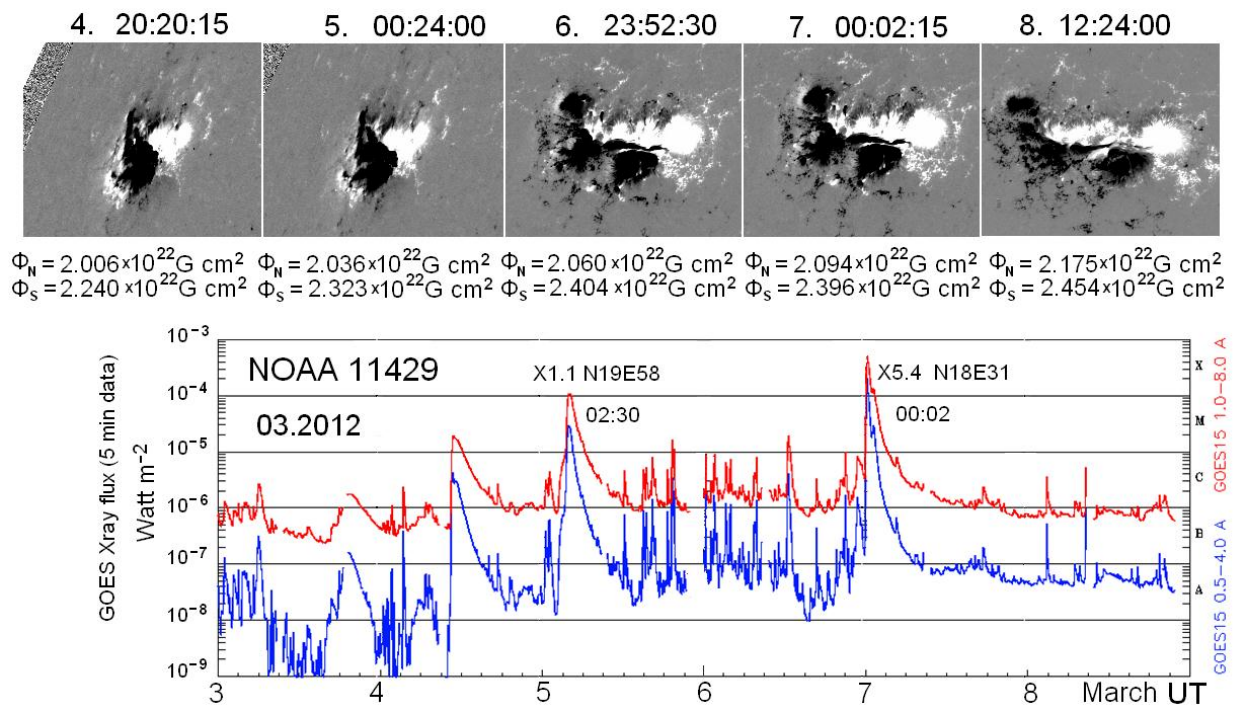


Рис. 3. Развитие активной области с большим, слабо меняющимся магнитным потоком. Вспышечная активность возросла при усложнении распределения магнитного поля.

На рис. 3 показана АО NOAA 11429, которая появилась на восточном лимбе с большим магнитным потоком и довольно простым распределением магнитного поля. Вспышечная активность не превышала C2. За неделю поток возрос не более чем на 10%, но наблюдался бурный рост сложности распределения поля. Такая динамика напоминает формирование фрактальности. На следующие сутки появилась сначала вспышка класса M, а затем 2 вспышки класса X. Все исследованные большие вспышки возникли при магнитных потоках активной области больших 10^{22} Мкс и сложных распределениях фотосферного магнитного поля. Таким образом, главными условиями появления вспышки являются большой магнитный поток активной области и сложное распределение поля с внедрением источников поля одного знака в источники другого знака (вгд конфигурация).

Анализ распределения магнитного поля активных областей, направленный на выяснение роли случайных возмущений магнитного поля при появлении вспышек.

Исследовано поведение распределения магнитного поля в активных областях во время вспышек, преимущественно больших (класса X), и в спокойные периоды, когда активность активных областей отсутствовала. Типичные результаты представлены на рис. 4.

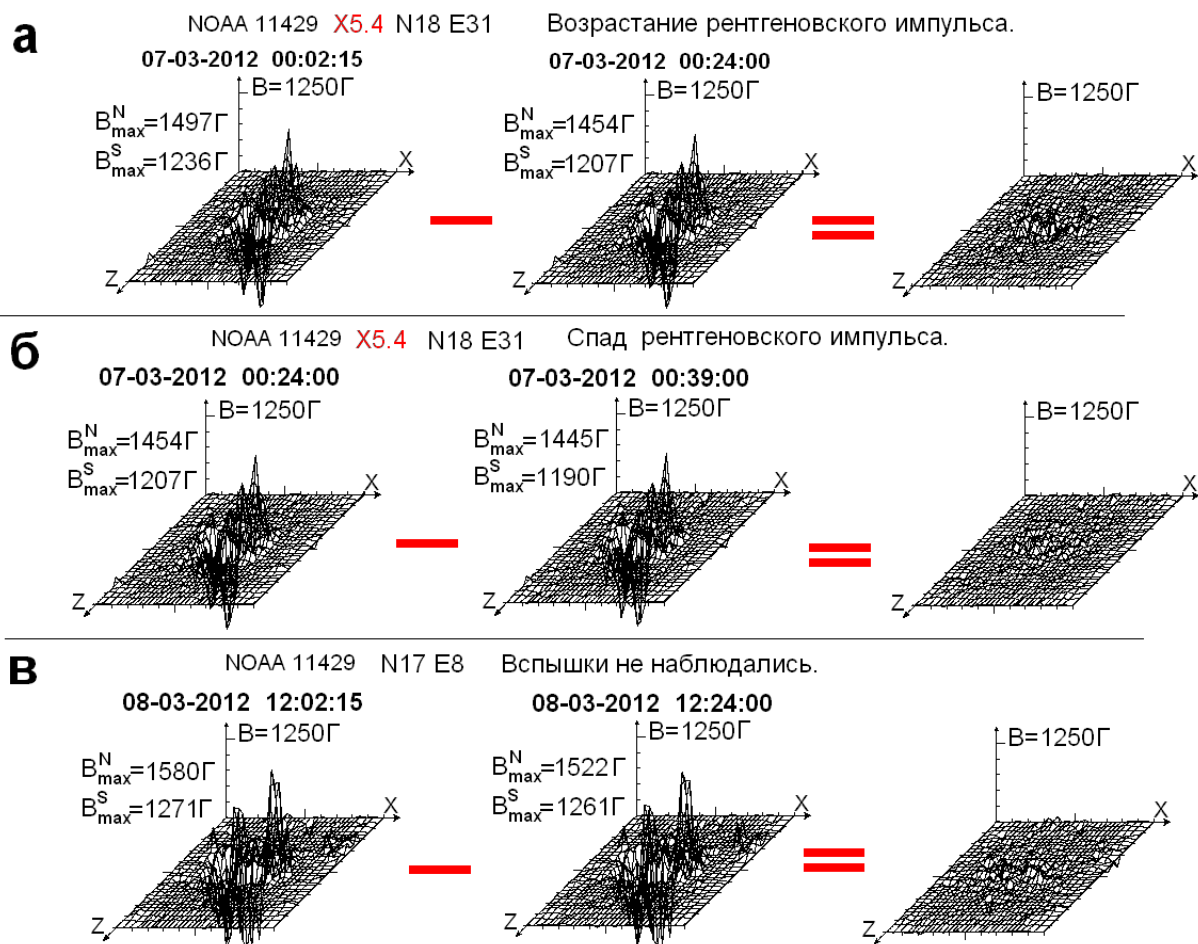


РИС. 4. ОТСУТСТВИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ПРИ БОЛЬШОЙ ВСПЫШКЕ И СРАВНЕНИЕ С ПОВЕДЕНИЕМ ПОЛЯ В СПОКОЙНОЕ ВРЕМЯ.

Показано поведение распределения поля активной области NOAA 11429 во время кратковременных промежутков времени (~20 мин) при нарастании импульса рентгеновского излучения мощной длительной вспышки X5.4, при его спаде, а также в интервале времени, когда отсутствовала активность. Несмотря на очень сложный характер распределения поля с множеством острых максимумов северной и южной полярности никаких особенностей поведения магнитного поля активной области во время вспышки не обнаруживается. Распределение магнитного поля во время вспышки не нарушается появлением вспышки. Положения максимумов поля и их величины остаются практически неизменными. Поведение активной области во время вспышки ничем не отличается от ее поведения при отсутствии вспышки. Никаких особенностей при вспышке источники поля активной области не демонстрируют. Показанные на рис. 4 двадцатиминутные разности распределений магнитного поля при вспышке и без нее выглядят одинаково.

Анализ магнитных полей активных областей с использованием данных MDI подтвердил результаты 2013 г, показавшие, что магнитный поток активной области при больших (класса X) вспышках не бывает меньшим 10^{22} Мкс. Величины как северного, так и южного магнитных потоков сохраняются с точностью до 1%. Последние годы ряд зарубежных авторов пытался обнаружить локальные изменения магнитного потока при вспышке в районе линии инверсии магнитного поля. Сообщается о локальных изменениях потока, не превышающих 10^{20} Мкс, т. е. 1%. Эти изменения носят случайный характер и могут наблюдаться при отсутствии вспышечной активности.

Высокое (с точностью до 1%) постоянство распределения поля и магнитного потока во время вспышки показывают, что магнитная энергия во время вспышки не

поступает от фотосферы. Магнитная энергия может медленно запасаться в токовой системе перед вспышкой в короне над активной областью. Токи токового слоя, расположенного высоко в короне и быстро затухающие во время вспышки, не могут вызвать заметных возмущений на фотосфере. Численное решение трехмерной системы МГД уравнений показало, что перед вспышкой токовый слой возникает над активной областью, и положение токового слоя совпадает с источником теплового рентгеновского излучения вспышки.

Усовершенствование системы поиска положения источников теплового рентгеновского излучения вспышек, разработанной на основе результатов МГД моделирования в реальной активной области.

Проведена модернизация программы визуализации результатов численного моделирования с одновременными вычислениями, предназначенная для оперативного отыскания положения токовых слоев. Программа ведет поиск источников теплового рентгеновского излучения во время вспышки, поскольку они должны располагаться в токовых слоях, где в результате диссипации магнитного поля происходит нагрев плазмы до температуры более тридцати миллионов градусов.

Для поиска положения токового слоя используется его свойство, согласно которому максимум абсолютной величины плотности тока располагается в центре токового слоя. В любой выбранной плоскости, которая как угодно может располагаться в пространстве в расчетной области, строятся линии уровня абсолютной величины плотности тока. На плоскость наносятся все положения локальных максимумов плотности тока в этой плоскости, а также проекции положений всех локальных максимумов плотности тока в пространстве на эту плоскость. Отмеченные точки располагаются в местах пересечения токовых слоев с выбранной плоскостью или соответствуют центрам токовых слоев. Для того чтобы представить распределение плотности тока в пространстве, выбранная плоскость может перемещаться в перпендикулярном ей направлении с автоматической перестройкой линий уровней и положений максимумов плотности тока. Программа позволяет легко вывести подробную информацию о любой отмеченной точке максимума: значения координат в этой точке в любой выбранной системе координат и значения всех вычисляемых величин (вектора магнитного поля, плотности и температуры плазмы и т. д.) в этой точке. Для того чтобы выяснить, соответствует ли данная точка токовому слою или просто соответствует повышению плотности тока вследствие какого-либо возмущения, программа располагает возможностью построения конфигурации магнитного поля в окрестности выбранной точки в любой как угодно повернутой системе координат. Как правило, в первую очередь строится конфигурация магнитного поля в плоскости, содержащей выбранную точку максимума плотности тока и расположенной перпендикулярно вектору магнитного поля. В такой плоскости токовый слой должен быть выражен наиболее отчетливо.

В модернизированную программу введена система команд, позволяющих удобнее осуществлять параллельный сдвиг в пространстве плоскостей, на которые наносятся положения максимумов плотности тока в плоскости и проекции положений максимумов плотности тока в пространстве. Перестроение уровней плотности тока и положений максимумов плотности тока при сдвиге плоскости линий происходит быстрее. Введение этих усовершенствований оставило возможность построения уровней плотности тока и положений максимумов не только в плоскостях, перпендикулярных осям расчетной области, но и в произвольно ориентированных плоскостях. Проведенная модернизация позволила осуществлять поиск положений токовых слоев быстрее и эффективнее.

Проведена подготовительная работа для создания системы поиска положений источников жесткого рентгеновского излучения в местах пересечения с фотосферой силовых линий, выходящих из токового слоя. В результате значительно сократилось время построения пространственных магнитных силовых линий на графике, и введены преобразования координат при переходе в различные системы, в частности в систему с расположением координат вдоль луча зрения и в картинной плоскости. Вывод значений координат точек расчетной области в различных системах координат сейчас осуществляется в цифровом виде. Проведена подготовительная работа для создания графического вывода в картинной плоскости.

На рис. 5 представлены результаты расчета положения токового слоя для вспышки 27 мая 2003 г. Изображены линии постоянной плотности тока, положения плоских максимумов плотности тока и проекции положений пространственных максимумов плотности тока в плоскости, перпендикулярной фотосфере, пересекающей фотосферу по линии Восток – Запад (Рис. 5а) и в плоскости, перпендикулярной фотосфере, пересекающей фотосферу по линии Север – Юг (Рис. 5б), конфигурация магнитного поля в пространстве вблизи максимума плотности тока (Рис. 5в).

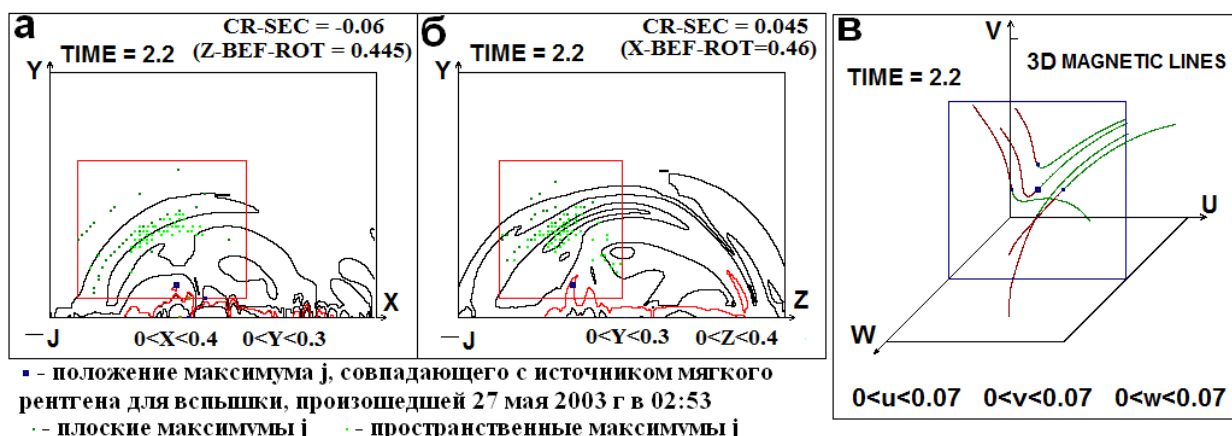


Рис. 5 (а, б) – Линии постоянной плотности тока (красные и черные линии), положения плоских максимумов плотности тока (тёмно-зелёные точки) и проекции положений пространственных максимумов плотности тока (светло-зелёные точки) в плоскостях перпендикулярных фотосфере, пересекающих фотосферу по линии Восток – Запад и линии Север – Юг, (в) – расположение линий магнитного поля в пространстве вблизи максимума плотности тока. Перед плоскостью, в которой лежит точка максимума плотности тока, линии поля изображены коричневым цветом, а за ней – синим.

Публикации:

1. Мешалкина Н.С., Подгорный А.И., Подгорный И.М. Исследование поведения магнитного поля в активной области при возникновении больших (класса X) солнечных вспышек путем численного МГД моделирования. Труды конференции Всероссийская конференция. XXIV Всероссийская научная конференция "РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН". Т. 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН. МСЗФ СО РАН. Стр. 146-149. 2014. Иркутск.
2. Подгорный А.И., Подгорный И.М. МГД моделирование положения источников жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек и сравнение с наблюдениями. Солнечная и Солнечно-Земная Физика - 2013.

Труды XVIII Пулковской ежегодной конференции по физике Солнца. 2014. С. 207 - 210.

3. Подгорный И.М., Подгорный А.И., Мешалкина Н.С. Магнитное поле активных областей и его связь с появлением вспышек. Солнечная и Солнечно-Земная Физика - 2013. Труды XVIII Пулковской ежегодной конференции по физике Солнца. 2014. С. 211 -214.
4. PODGORNÝ A.I., PODGORNÝ I.M. CORONAL CURRENT SHEET AS A SOURCE OF THERMAL X-RAY. GEOMAGNETISM AND AERONOMY. 54, No. 7. ????? (2014).

Доклады

1. Подгорный А.И., Подгорный И.М. Положение солнечной вспышки из численного МГД моделирования и сравнение с рентгеновскими наблюдениями. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2014. 27 января – 1 февраля 2013. МИФИ.
2. Подгорный И.М., Подгорный А.И. Связь магнитного поля активной области с возникновением солнечной вспышки. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2014. 27 января – 1 февраля 2013. МИФИ.
3. Подгорный И.М., Подгорный А.И. Связь появления солнечных вспышек с динамикой магнитного поля активной области. Девятая конференция "Физика плазмы в солнечной системе" 10 – 14 февраля 2014 г. ИКИ РАН..
4. Подгорный А.И., Подгорный И.М. Определение положения солнечной вспышки численным МГД моделированием и сравнение с рентгеновскими наблюдениями. Девятая конференция "Физика плазмы в солнечной системе" 10 – 14 февраля 2014 г. ИКИ РАН.
5. Подгорный И.М., Подгорный А.И. Физика солнечных вспышек. 16-я международная конференция по физике плазмы и УТС. 10 – 14 февраля 2014 г.
6. Подгорный А.И., Подгорный И.М. Положение солнечной вспышки, определенное численным МГД моделированием, и сравнение с рентгеновскими наблюдениями. 16-я международная конференция по физике плазмы и УТС. 10 – 14 февраля 2014 г.
7. I. M. PODGORNÝ, A. I. PODGORNÝ. MAGNETIC ENERGY ACCUMULATION IN THE CORONAL CURRENT SHEET FOR A FLARE. 37-й ежегодный Апатитский семинар Физика авроральных явлений. 25.02-28.02. 2014. г. Апатиты, ПГИ КНЦ РАН.
8. A. I. PODGORNÝ, I. M. PODGORNÝ. COMPARING OF THE FLARE POSITION FOUNDED BY MHD SIMULATION WITH X-RAY OBSERVATIONS 37-й ежегодный Апатитский семинар Физика авроральных явлений. 25.02-28.02. 2014. г. Апатиты, ПГИ КНЦ РАН. Устный доклад.
9. Подгорный А.И. Подгорный И.М. Солнечная вспышка - механизм явления и условия возникновения. 06.03. 2014 г Семинар ИПГ.
10. Подгорный А.И. Подгорный И.М. Солнечная вспышка - наблюдения и проблемы магнитогидродинамического моделирования. 19.05.2014. Ученый совет. ФИАН.
11. PODGORNÝ A.I., PODGORNÝ I.M. THE FLARE POSITION OBTAINED FROM THE MHD SIMULATION AND COMPARISON WITH X-RAY OBSERVATION. COSPAR-14. MOSCOW. 1014.
12. PODGORNÝ I.M., PODGORNÝ A.I., MESHALKINA N.S. THE EVIDENCE OF MAGNETIC ENERGY ACCUMULATION IN THE SOLAR CORONA BEFORE A FLARE. COSPAR-14. MOSCOW. 1014.
13. Мешалкина Н.С. Подгорный А.И., Подгорный И.М. Исследование поведения магнитного поля в активной области при возникновении больших (класса X) солнечных вспышек путем численного МГД моделирования. Всероссийская конференция. XXIV Всероссийская научная конференция "РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН". Иркутск. 29.06. 2014 - 05.07.2014.
14. PODGORNÝ A.I., PODGORNÝ I.M. CURRENT SHEET POSITION FROM MHD SIMULATION COINCIDE WITH SOURCE OF FLARE THERMAL X-RAY EMISSION. ESPM-14. DUBLIN. 8.09.2014 – 12.08.2014.
15. PODGORNÝ I.M., PODGORNÝ A.I. RELATIONSHIP OF THE ACTIVE REGION MAGNETIC FIELD AND SOLAR FLARE APPEARANCE. ESPM-14. DUBLIN. 8.09.2014 – 12.08.2014.

16. Подгорный, И.М. Подгорный А.И. Ускорение и распространение солнечных космических лучей. ВСЕРОССИЙСКАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ СОЛНЦА. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ. ПУЛКОВО. ГАО. 20 -24. 10. 2014.
17. Подгорный А.И. Подгорный И.М. Солнечные вспышки – механизм явления и проблемы магнитогидродинамического моделирования. СЕМИНАР ПО РАДИОФИЗИКЕ ГАО. ПУЛКОВО. 22. 10. 2014.
18. PODGORNÝ A.I., MINAMI S., PODGORNÝ I.M.ELECTRIC FIELD GENERATION IN GEOMAGNETIC TAIL. 12 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUBSTORM. ISE-SHIMA ROYAL, JAPAN. 10 – 14 NOVEMBER 2014.
19. PODGORNÝ I.M., MINAMI S., PODGORNÝ A.I. ENERGY ACCUMULATION FOR SUBSTORMS AND SOLAR FLARES. 12 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUBSTORM. ISE-SHIMA ROYAL, JAPAN. 10 – 14 NOVEMBER 2014.

Д.Д. Соколов

Статьи

1. Д.Д.Соколов, Р.А.Степанов, П.Г. Фрик, Динамо на пути от астрофизических моделей к лабораторному эксперименту, УФН, {\bf 184}, N 3, 313 -- 335, 2014.
- 2.H.Zhang, A.Brandenburg, D.Sokoloff, Magnetic helicity and energy spectra of a solar active regions, APJL, 784:L45 (5pp), 2014 .
- 3.Kitchatinov, L. L.; Moss, D.; Sokoloff, D.Magnetic fields in fully convective M-dwarfs: oscillatory dynamos versus bistability, MNRAS, {\bf 442}, N 1, L1-L4 2014.
- 4.V. V. Pipin, D. Moss, D. Sokoloff, J. T. HoeksemaReversals of the solar magnetic dipole in the light of observational data and simple dynamo models,A\&A 567, A90, 8 pages, 2014.
5. E.Illarionov, A.Tlatov, D.Sokoloff The properties of the tilts of bipolar solar regions, Solar Physics, 2014? published on-line.

Доклады (с тезисами)

- 1.Соколов Д.Д., Пипин В.В., Мосс Д.Л. .Обращения магнитного диполя в свете наблюдательных данных и моделей динамо, 9-ая ежегодная конф. Физика плазмы в Солнечной системе, 3, ИКИ РАН, 2014.
2. Илларионов Е.А., Тлатов А.Г., Соколов Д.Д., Пипин В.В. Распределение тилт-угла биполярных областей на Солнце, 9-ая ежегодная конф. Физикаплазмы в Солнечной системе, 7, ИКИ РАН, 2014 .
- 3.Соколов Д.Д. Маундеровский минимум -- основные характеристики. гипотезы возникновения, Космические факторыэволюции биосферы

и геосферы, ГАИШ, программа и резюме докладов, М. 2014, 26-27.

4.D.Sokoloff Variability of solar cycles and solar dynamo with fluctuations of the solar dynamo governing parameters, Solar

influence on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere, Sozopol, Bulgaria, 2014, p. 4

5.D.Sokoloff, A.Tlatov, E.Illarionov, V.Pip\in Tilt angle of bipolar sunspot groups and solar dynamo, COSPAR-2014, Moscow, 2014, E2.2-0049-14.

6.D.Sokoloff . Fluctuations in solar dynamo, SCOSTEP-13, XiAn, China, 2014, 175.

7. E.Illarionov, A.Tlatov, D.Sokoloff, Properties of tilt of bipolar solar regions, SCOSTEP-13, XiAn, China, 2014, 203.

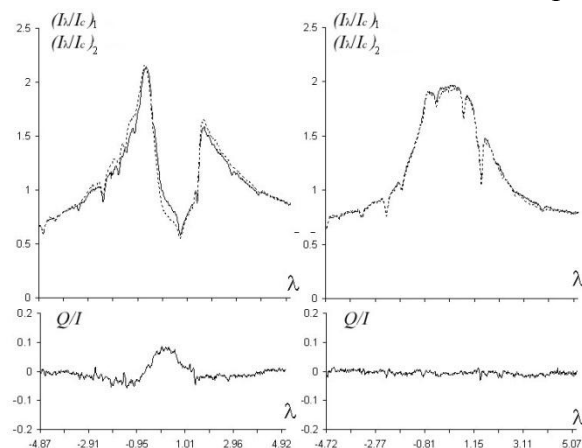
Главное достижение:

Показано, что по векторным магнитограммам активных областей Солнца можно восстановить спектр магнитной спиральности (статья 2).

Отчет за 2014 год Фирстовой Н.М., Полякова В.И.

Проведено исследование ударной линейной поляризации линии $H\alpha$ в солнечных вспышках рентгеновских классов C, M и X (две вспышки), наблюдавшихся на Большом солнечном вакуумном телескопе. Из 32 обработанных вспышек только в 13 были обнаружены свидетельства ударной поляризации. Были проанализированы причины частого (или типичного, как указывают некоторые исследователи) отсутствия линейной поляризации хромосферных линий во вспышках. В связи с этим исследовались причины этого. Так, причина реального отсутствия поляризации может быть вызвана изотропизацией функции распределения частиц по скоростям в пучке при внедрении его в плотные слои хромосферы. Кроме того, в случае наличия поляризации во вспышках показаны причины, затрудняющие ее обнаружение из-за условий наблюдения. Одной из основных особенностей наблюдения ударной линейной поляризации является то, что наиболее результативными с точки зрения ее обнаружения ожидаются наблюдения вспышек, расположенных ближе к солнечному лимбу. К числу трудностей определения поляризации относится также кратковременность этого явления (поляризация возникает, в основном, в начале вспышки), влияние инструментальной поляризации и градиента интенсивности, важно также высокое пространственное разрешение.

Вновь полученные данные подтвердили, что величина линейных параметров Стокса в основном составляет 2–7%, а пространственные размеры узлов вспышки с ненулевыми значениями параметров Стокса составляют 1–2". Наибольшая величина параметров Стокса (до 15%) занимала область 6" и была получена в том случае, когда профиль интенсивности линии $H\alpha$ имел самообращение в центре. На рисунке показаны профили интенсивности линии $H\alpha$ (вверху) и соответствующие им профили параметров Стокса (внизу) в двух лентах одной вспышки, полученные одновременно. По горизонтальной шкале отложена длина волны с 0 в центре линии.



Главный результат: в двух лентах вспышки (или в двух основаниях одной петли или аркады петель) обнаружено различие как в интенсивности линии $H\alpha$, так и в наличии линейной поляризации.

Статья:

N. M. Firstova, V. I. Polyakov, and A. V. Firstova, Observation of $H\alpha$ Line Impact Polarization in Solar Flares // Astronomy Letters, 2014, Vol. 40, No. 7, pp. 449–458.

Отчет Авакяна Сергея Вазгеновича

Научному совету по астрономии РАН (Секция "Солнце")
по работам Лаборатории №1 (Лаборатория аэрокосмической физической
оптики) в ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова
за 2014 г.

1. Публикации 2014 г.

№ п/п	Наименование Публикации	Название издательства, журнала, год, номер, страницы.	Фамилии соавторов
1.	Обеспечение мониторинга гелиогеофизической возмущённости околоземной космической среды: «Космический Солнечный Патруль – проект ГОИ – ГАО РАН»	Доклад на III Всероссийскую научную конференцию "Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды", Санкт-Петербург, 16-17 апреля 2014 г.	Воронин Н.А., Кувалдин Э.В., Леонов Н.Б., Наговицын Ю.А., Савушкин А.В., Баранова Л.А.

№ п/п	Наименование Публикации	Название издательства, журнала, год, номер, страницы.	Фамилии соавт
2.	Комплексный подход к образовательным технологиям комплексной безопасности	Материалы международной научно-методической конференции "Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах", Санкт-Петербург, 5-7 июня 2014 г. с. 4-7	-
3.	Контроль погодно-климатических характеристик ионосферными возмущениями	Доклад на III Всероссийскую научную конференцию "Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды", Санкт-Петербург, 16-17 апреля 2014 г.	-
4.	Варианты управления погодно-климатическими характеристиками	Доклад на III Всероссийскую научную конференцию "Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды", Санкт-Петербург, 16-17 апреля 2014 г.	Воронин Н.А., Троицкий А.В., Черноус С.А.
5.	Управление погодой и проблемы безопасности России	Доклад на пленарном заседании и секции "Проблемы Военно-Морского Флота России" 17 Ежегодной всероссийской научно-практической конференции "Актуальные проблемы защиты и безопасности", Санкт-Петербург, 2-3 апреля 2014 г.	Воронин Н.А., Троицкий А.В., Черноус С.А.
6.	Novel approaches to mid-long term weather and climate forecast based on the solar-geomagnetic signal Новые подходы к средне-долгосрочному прогнозу погоды и климата на основе солнечно-геомагнитного сигнала	Тезисы Доклада (C2.3-0019-14) на 40-й Генеральной Ассамблее КОСПАР, Москва, 2 - 8 августа 2014 г.	Baranova L.A.
7.	Possibility of weather and climate change by active experiments Возможности активных экспериментов в изменении погодно-климатических характеристик	Тезисы Доклада (C5.1-0025-14) на 40-й Генеральной Ассамблее КОСПАР, Москва, 2 - 8 августа 2014 г.	Voronin N.A., Tro A.V., Chernouss
8.	Unexplored biophysical problem of manned flight to Mars Неисследованная биофизическая проблема пилотируемого полета к Марсу	Тезисы Доклада (F4.4-0008-14) на 40-й Генеральной Ассамблее КОСПАР, Москва, 2 - 8 августа 2014 г.	Kovalenok V.V., Voronin N.A., Trchounian A., Sterlikova I.V.

№ п/п	Наименование Публикации	Название издательства, журнала, год, номер, страницы.	Фамилии соавт
9.	The role of EUV/X-ray solar activity and electron precipitations from radiation belts in the climate changes Роль крайнего ультрафиолетового и рентгеновского излучения солнечной активности и высыпаний электронов из радиационных поясов в климатических изменениях	Тезисы Доклада (C1.2-0004-14) на 40-й Генеральной Ассамблее КОСПАР, Москва, 2 - 8 августа 2014 г.	Baranova L.A., Voronin N.A.
10.	Reaction of physiological factors on the solar-geomagnetic activity (the physical mechanisms) Реакция психологических факторов на солнечно-геомагнитную активность (физические механизмы)	Тезисы Доклада (C2.3-0034-14) на 40-й Генеральной Ассамблее КОСПАР, Москва, 2 - 8 августа 2014 г.	Dubarenko K.A., Voronin N.A.
11.	Provision of the International standards by the data of the monitoring of heliophysical perturbations of near Earth's space Обеспечение интернациональных стандартов данными мониторинга гелиогеофизической возмущённости околоземной космической среды	Тезисы Доклада (C0.1-0011-14) на 40-й Генеральной Ассамблее КОСПАР, Москва, 2 - 8 августа 2014 г.	Voronin N.A., Kuvaldin E.V., Le N.B., Nagovitsyn Yu.A., Savushkin Baranova L.A., Kovalenok V.V., Savinykh V.P.
12.	On the mid-long term weather and climate forecast based on the solar-geomagnetic signal	Proceedings of the 10th Int. Conf. "Problems of Geocosmos", (6-10 October 2014, St.-Petersburg), p. 127-128.	Baranova, L.A.
13.	The response of atmospheric pressure and air temperature to solar events in October, 2003	Proceedings of the 10th Int. Conf. "Problems of Geocosmos", (6-10 October 2014, St.-Petersburg), p. 128-129.	Nikol'sky, G.A., Voronin, N.A.
14.	Correlation of global cloudiness with the bursts in total solar irradiance	Proceedings of the 10th Int. Conf. "Problems of Geocosmos", (6-10 October 2014, St.-Petersburg), p. 129-130.	Voronin, N.A., Kavtrev, S.S.
15.	On the unexplored psychological problem of manned flight to Mars	Proceedings of the 10th Int. Conf. "Problems of Geocosmos", (6-10 October 2014, St.-Petersburg), p. 167-168.	Kovalenok, V.V., Avakyan, S.V., Voronin, N.A., Trchounian, A., Sterlikova, I.V.
16.	Возможности средне-долгосрочных прогнозов погоды с учётом солнечно-геомагнитной активности	Сборник трудов XVIII всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика-2014», (20-24 октября 2014 года, Санкт-Петербург, ГАО РАН), с. 19-22	Баранова Л.А.

№ п/п	Наименование Публикации	Название издательства, журнала, год, номер, страницы.	Фамилии соавт
17.	Закономерности отклика глобальной облачности на вариации солнечно-геомагнитной активности	Сборник трудов XVIII всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика-2014», (20-24 октября 2014 года, Санкт-Петербург, ГАО РАН), с. 23-26	Воронин Н.А., Кастрев С.С.
18.	Отклик атмосферного давления и температуры воздуха на солнечные события в октябре 2003 года	Сборник трудов XVIII всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика-2014», (20-24 октября 2014 года, Санкт-Петербург, ГАО РАН), с. 27-30	Воронин Н.А., Никольский Г.А.
19.	Способ учета активности Солнца в среднесрочных прогнозах погодно-климатических характеристик	Патент РФ , положительное решение от 19.11.2014, 10 стр.	Л.А. Баранова

2. Основные результаты 2014 г.

2.1. Впервые получены прямые экспериментальные доказательства влияния крупных солнечных вспышек и мировых магнитных бурь на атмосферное давление (его падение при вспышках) и температуру приземного воздуха (ее рост при магнитных бурях) в высокогорных условиях (вблизи Кисловодска)

Авакян С.В., Воронин Н.А., Никольский Г.А. Отклик атмосферного давления и температуры воздуха на солнечные события в октябре 2003 года // Сборник трудов XVIII всероссийской ежегодной конференции с международным участием «Солнечная и солнечно-земная физика-2014», (20-24 октября 2014 года, Санкт-Петербург, ГАО РАН), с. 27-30.

2.2. Получено положительное решение о выдаче патента РФ "Способ учета активности Солнца в среднесрочных прогнозах погодно-климатических характеристик". За основу взята обнаруженная авторами ранее реакция облачного покрова на вариации числа солнечных пятен и на всплески солнечной постоянной. Это учитывается при прогнозе изменений в полной облачности по отношению к её средним величинам за два - три десятка лет. Известна статистическая связь этих изменений в облачности с аномалиями температуры приземного воздуха в регионе - по пятидневкам года. Авторы: Авакян С.В. (ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова), Баранова Л.А. (ФТИ им. А.Ф. Иоффе).

Представитель ВНЦ ГОИ в Научном совете по астрономии РАН, д.ф.-м.н., действительный иностранный член (по отделению физики и астрофизики) Национальной Академии Наук Республики Армения

Авакян

