

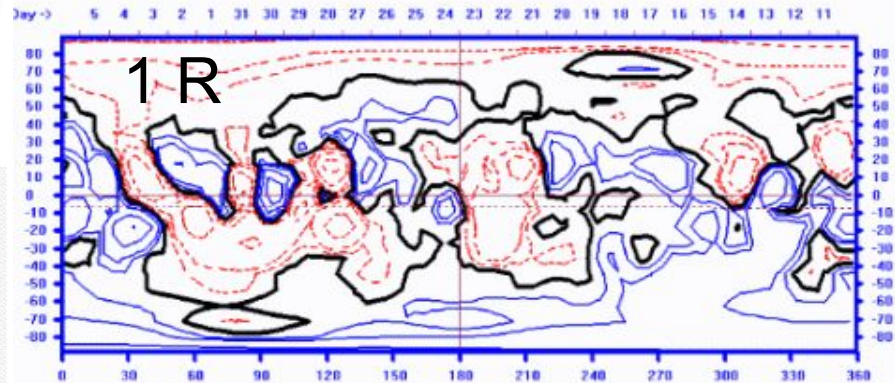
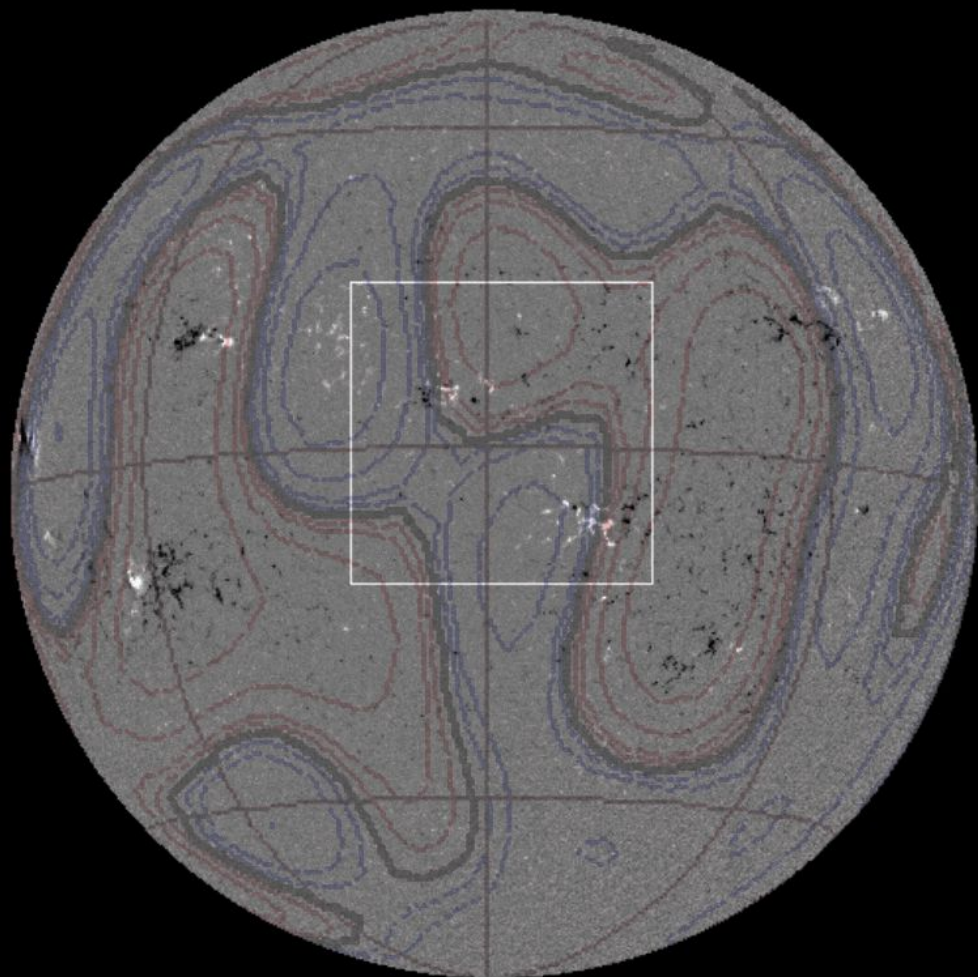
**О связи циклических изменений  
структуры крупномасштабного  
магнитного поля Солнца с  
циклическими вариациями скорости  
и частоты появления корональных  
выбросов массы**

**Иванов Е.В.**

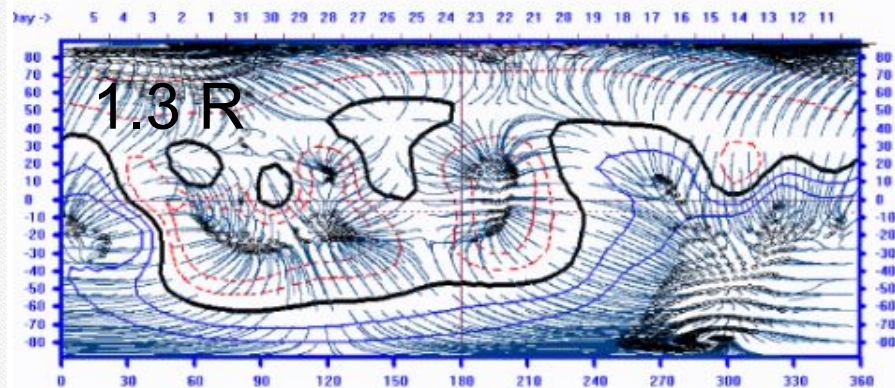
*Институт земного магнетизма, ионосферы и  
распространения радиоволн РАН,  
Московская обл., г. Троицк.  
E-mail: [eiwanov@izmiran.ru](mailto:eiwanov@izmiran.ru)*

# SOHO/MDI Magnetogram

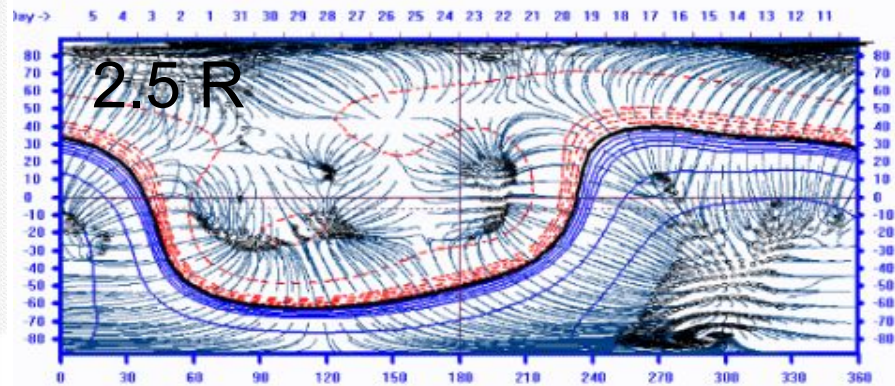
24-Mar-2003 23:25



Radial field component on the sphere of radius 1.00, date in the middle is 23. 3.2003  
Isolin levels are: -2000,-1000,-500,-200,-100, 0, 100, 200, 500, 1000, 2000

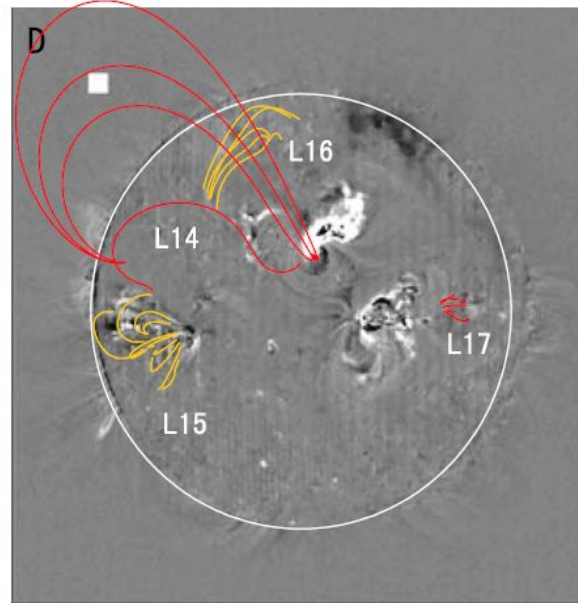
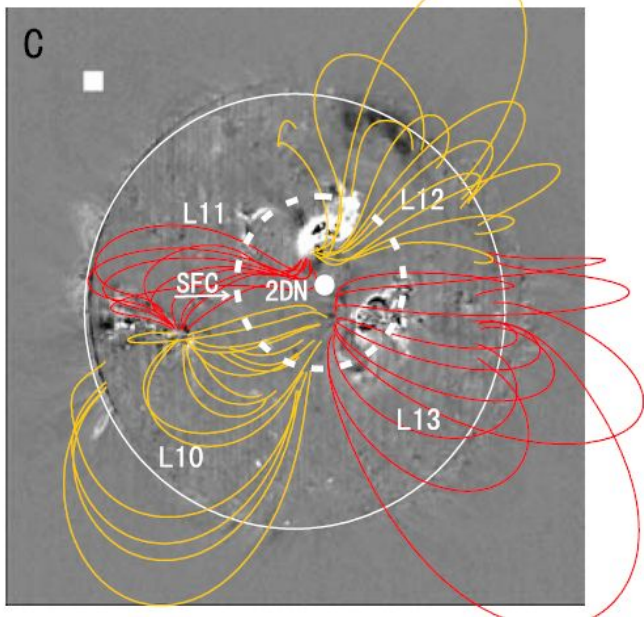
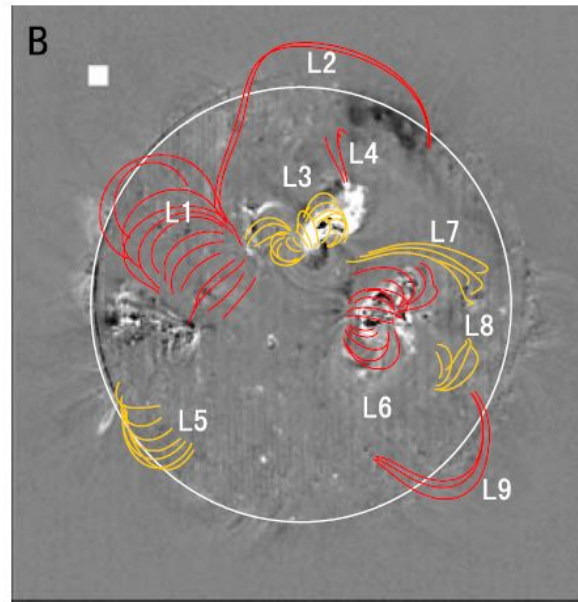
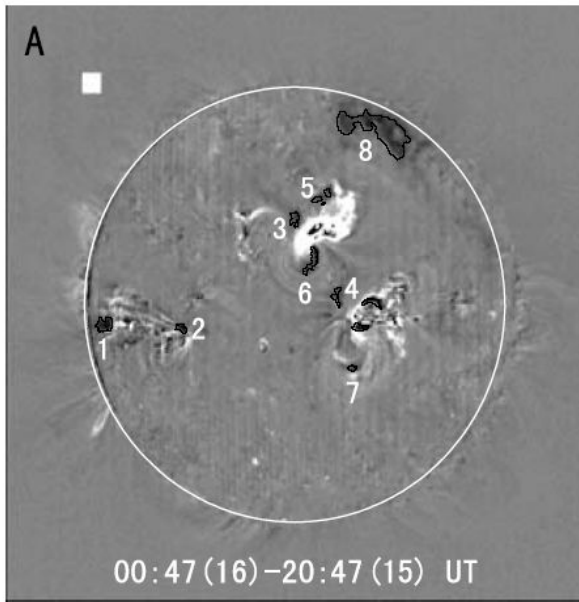


Radial field component on the sphere of radius 1.30, date in the middle is 23. 3.2003  
Isolin levels are: -539,-269,-135,-54,-27, 0, 27, 54, 135, 269, 539  
Down going open visible force lines finishing points on the sphere of radius 1.00  
Open force lines finishing points are marked with the circle



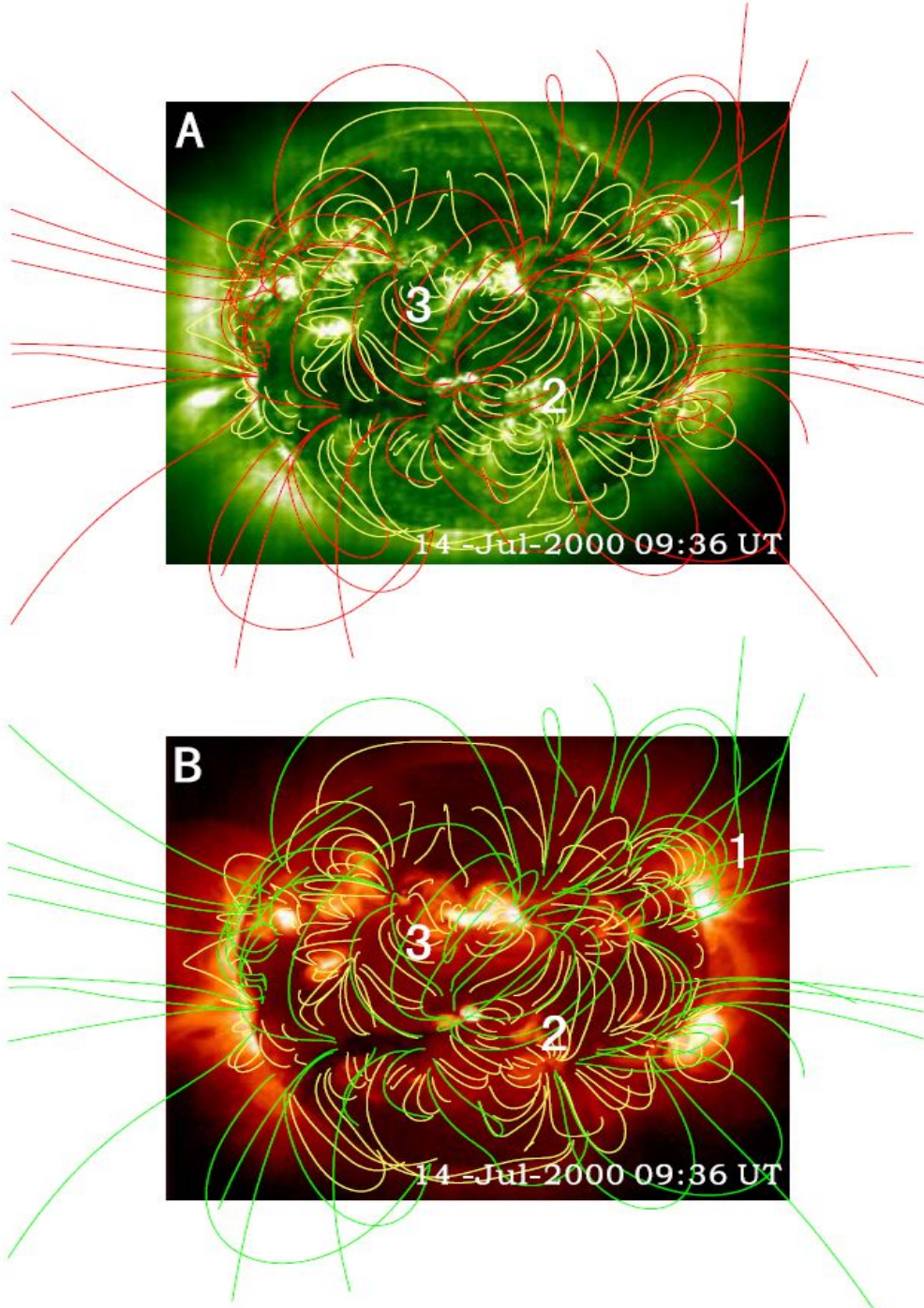
Radial field on the Source Surface, date in the middle is 23. 3.2003  
Isolin levels are: -20, -10, -5, -2, -1, -1, 0, 1, 1, 2, 2, 5, 10, 20.  
Down going open visible force lines finishing points on the sphere of radius 1.00  
Open force lines finishing points are marked with the circle





Fixed-base difference image of 00:47 UT (16 January 2005) – 20:15 UT (15 January 2005) overlaid with the contours of the dimming regions. B–D: The magnetic-loop systems with different magnetic connectivities. A weak SFC (white dashed circle) and a 2DN (white point) should exist between AR 10720 and AR 10718.

Zhang, Y., Wang, J., Attrill, G. D. R., Harra, L. K., Yang, Z., and He, X.: Coronal Magnetic Connectivity and EUV Dimmings, *Solar Phys.*, 241, 329–349,



**Figure 1** The extrapolated coronal magnetic field lines at 09:36 UT on 14 July 2000. The backgrounds are an EIT image on panel A and *Yohkoh*/SXT image on panel B. The yellow lines represent the closed field lines with height less than or equal to  $0.3R_{\odot}$ ; the red lines on panel A (also the green lines on panel B) denote the closed lines with height more than  $0.3R_{\odot}$  and less than  $2.5R_{\odot}$ , and the “open” field lines as well. At the location of the number 1 there are the extrapolated magnetic loops and the limb streamers; on the visible disk, some bundles of extrapolated magnetic lines and coronal loops accordingly are indicated by the number 2; the location marked by the number 3 is a set of magnetic arcades that straddle a transequatorial filament (Wang *et al.*, 2006).

Установлено, что наиболее заметные проявления солнечной активности (активные области, группы солнечных пятен, а также происходящие в них вспышки) имеют тенденцию к концентрации к границам структурных элементов крупномасштабного магнитного поля (КМПС), что проявляется в частности в образовании т.н. активных долгот. (Bumba V., Obridko V.N., 1969, Ivanov E.V., 2007). Концентрация этих образований (событий) к границам структурных элементов КМПС (активным долготам и секторным границам межпланетного магнитного поля) растет с ростом их интенсивности (балла) и наиболее заметна для достаточно больших и мощных образований (в случае вспышек - для протонных вспышек и вспышек балла X). В то же время для значительного числа небольших пятен какой либо заметной концентрации к активным долготам не наблюдается (Ivanov E.V., 2007).

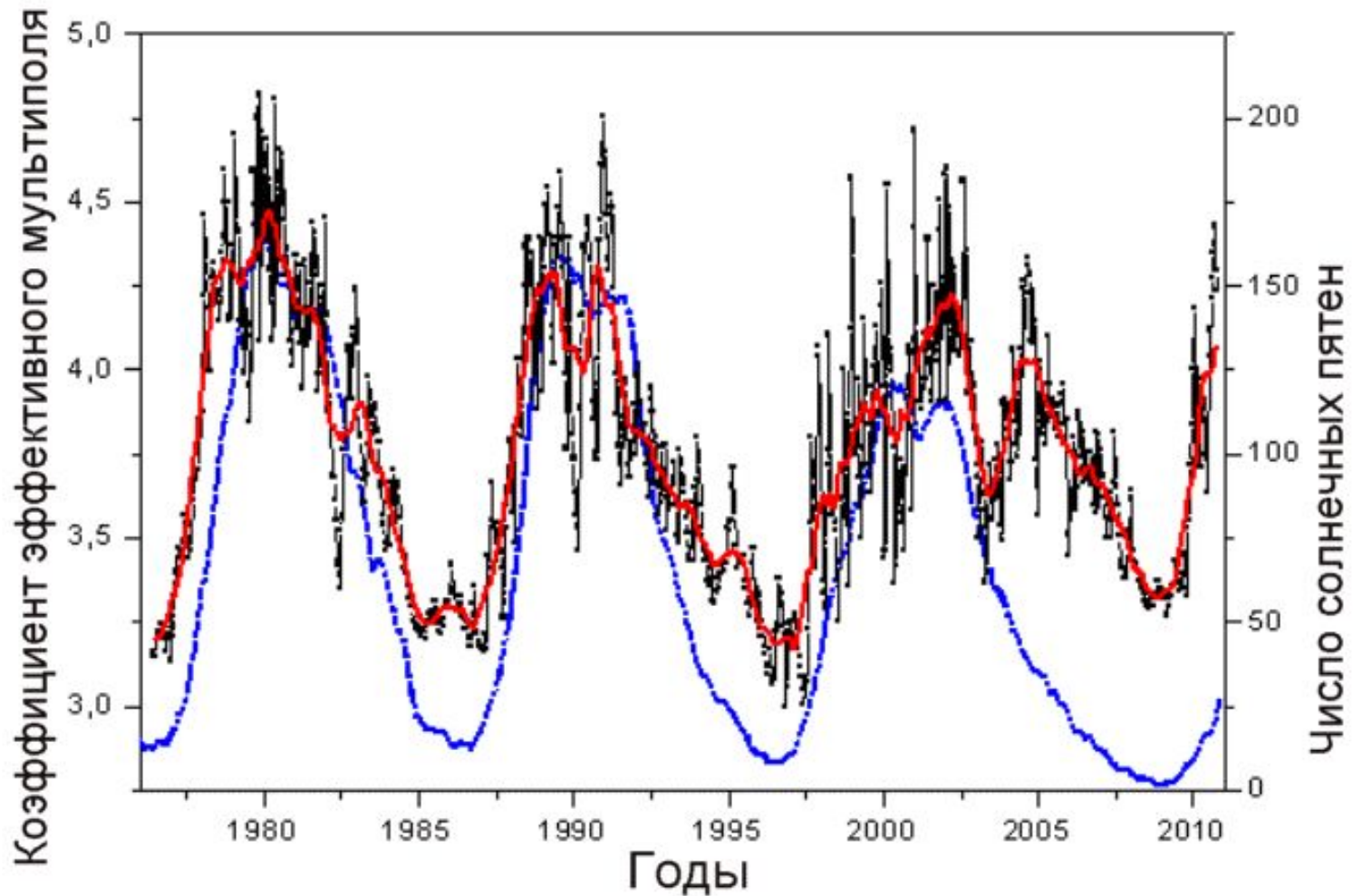
1. Bumba V., Obridko V.N., *Solar Phys.*, Vol. 6, 104 -110, 1969.
2. Ivanov E.V., Active longitudes: structure, dynamics, and rotation, *Advances in Space Research*, 2007, 40, pp. 959-969.

Индикаторами крупномасштабного магнитного поля Солнца (КМПС) являются корональные дыры и комплексы из нескольких активных областей, связанных между собой корональными арочными структурами. Поскольку, как было показано ранее (Bumba V., Obridko V.N., 1969, Ivanov E.V., 2007), наиболее мощные пятна и активные области концентрируются к границам ячеек крупномасштабного магнитного поля Солнца, размеры таких крупномасштабных комплексов тесно связаны с размерами соответствующих структурных элементов (ячеек) КМПС. Для характеристики этих структурных элементов в работе (Ivanov et al., 1997) был введен индекс эффективного солнечного мультиполя.



**Индекс эффективного солнечного мультиполя  $n = -0.5 \lg(I_{ss}/I_{ph})/\lg(2.5)$**  определяется как логарифмическое отношение индекса энергии глобального магнитного поля Солнца на поверхности источника  $I_{ss}$  к величине этого индекса на поверхности фотосферы  $I_{ph}$ . Индекс энергии глобального магнитного поля Солнца  $I(Br)$  по определению равен  $I(Br) = B^2$ , где  $B^2$  – квадрат интенсивности радиальной компоненты магнитного поля Солнца, усредненный по поверхности радиуса  $r$ . Индексы  $I(Br)$  и  $n$  рассчитаны в потенциальном приближении с использованием процедуры расчета, при котором компоненты солнечного магнитного поля представлены в виде полиномов Лежандра. **Индекс эффективного солнечного мультиполя  $n$  определяет вклад различных компонент солнечного магнитного поля (мультиполей) на различных стадиях 11-летнего солнечного цикла.** При переходе от фотосферы ( $1R$ ) к поверхности источника ( $2.5 R$ ) магнитный поток меняется в соответствии с выражением  $B_{ss} = B_{ph} r^{-n}$ , где  $n = 3$  для дипольного источника,  $n = 4$  для квадрупольного, and  $n > 4$  для мультиполей более высокого порядка. При рассмотрении поля, являющегося комбинацией нескольких источников (мультиполей), входящих с различным весом,  $n$  может принимать значения от 3 до 4 (в случае комбинации дипольного и квадрупольного мультиполей) или еще большие (в случае комбинации мультиполей более высокого порядка). Относительная комбинация источников, представляющих глобальное магнитное поле (системы открытых магнитных полей, определяемых дипольной и квадрупольной компонентами) и системы замкнутых магнитных полей, определяемых мультиполями более высокого порядка в зависимости от фазы цикла дает значения  $n$ , изменяющиеся от 3 до 5.

**Е В Иванов В Н Обрилко и Б Л Шельтинг**

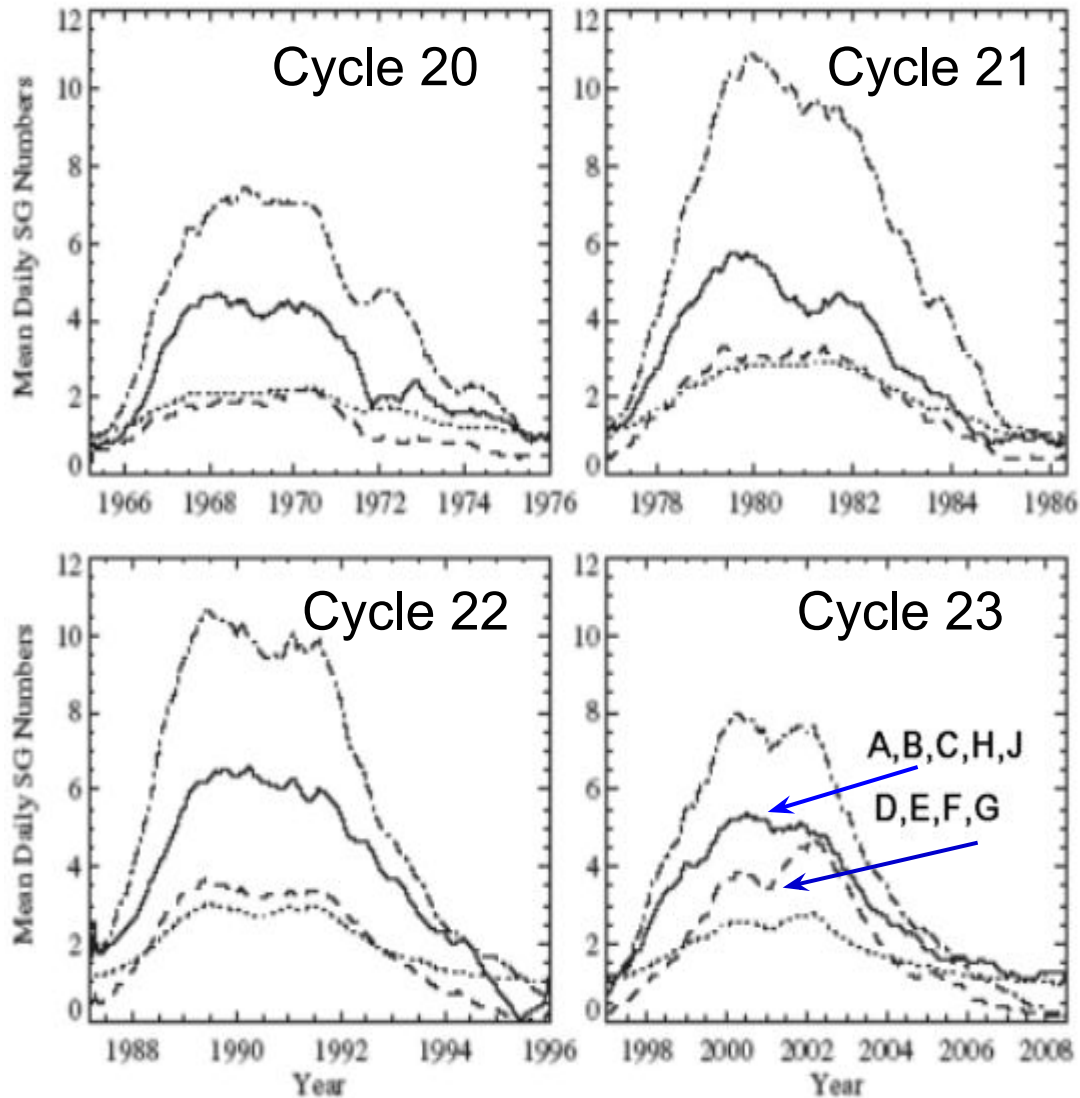


**Индекс эффективной мультиплетности  $n = \ln(I_{brph}/I_{brss}) / (2 \cdot \ln(2.5))$ .** Рост этого параметра указывает на уменьшение эффективного масштаба полей.

**1. Е.В. Иванов, В.Н. Обридко, и Б.Д. Шельтинг, *Астрономический журнал*, 1997, 74, N № 2, с 273-277.**

**2. E.V. Ivanov, V.N. Obridko et al., 2012 (in press).**



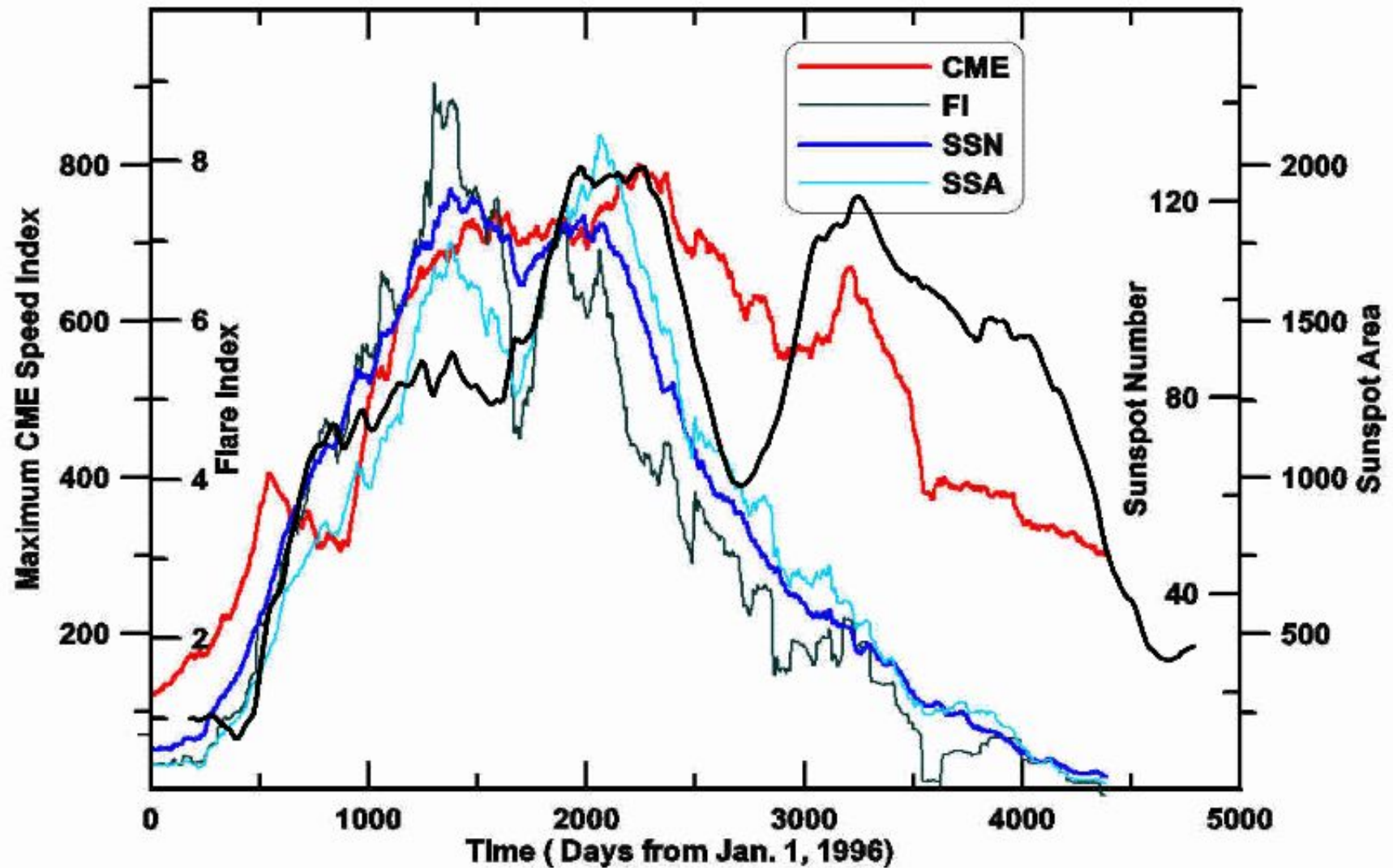


A. Kilcik, V. B. Yurchyshyn, V. Abramenko, P. R. Goode, A. Ozguc, J. P. Rozelot, and W. Cao, Time distributions of large and small sunspot groups over four solar cycles, *The Astrophysical Journal*, 731:30 (8pp), 2011 April 10.

**A. Kilcik, V. B. Yurchyshyn, V. Abramenko, P. R. Goode, A. Ozguc, J. P. Rozelot, and W. Cao, TIME DISTRIBUTIONS OF LARGE AND SMALL SUNSPOT GROUPS OVER FOUR SOLAR CYCLES, *The Astrophysical Journal*, 731:30 (8pp), 2011 April 10.**

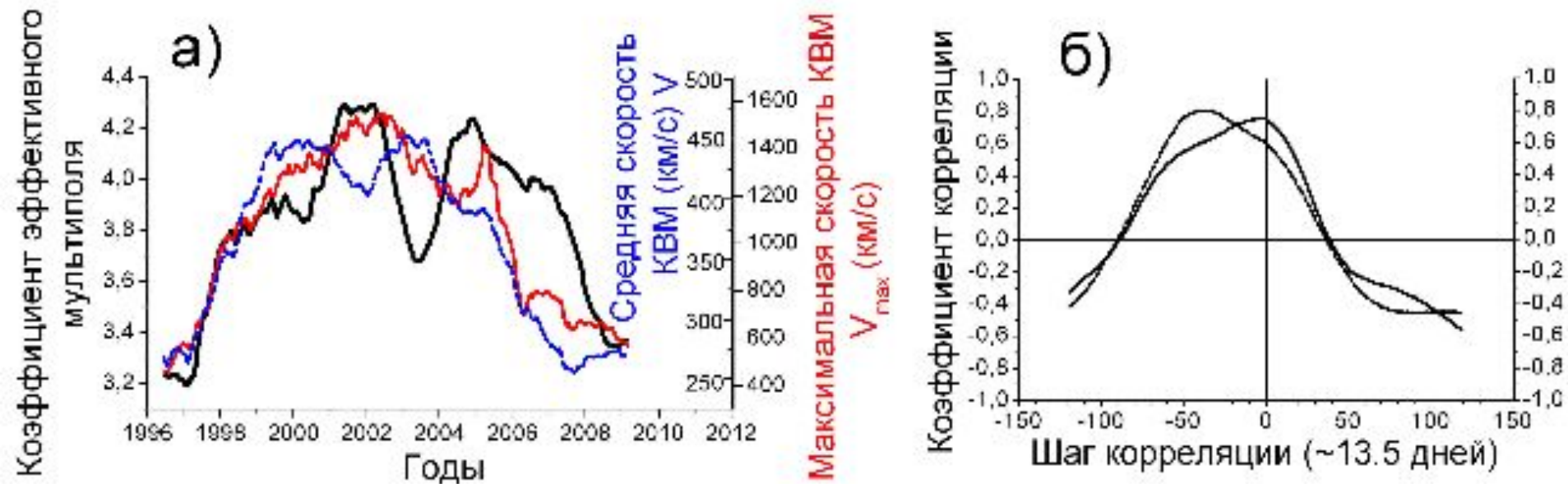
Была исследована циклическая вариация числа солнечных пятен и их суммарной площади за последние 4 солнечных цикла (20 -23) отдельно для небольших солнечных пятен (класса A, B, C, H, and J по цюрихской классификации) и больших комплексных групп пятен (класса D, E, F и G). Показано, что, исключая 22-й солнечный цикл, циклическая кривая для больших комплексных групп солнечных пятен достигает своего максимума приблизительно в середине солнечного цикла (на фазе 0.45–0.5 солнечного цикла) и совпадает со вторым из двух максимумов солнечной активности, в то время как кривая как для малых так и для всех солнечных пятен достигает своего максимума значительно раньше (на фазе 0.29–0.35 солнечного цикла) и совпадает с первым из двух максимумов солнечной активности.

Более того циклические кривые для потока радиоизлучения на 10.7 см, площади солнечных факелов и максимальной скорости корональных выбросов массы значительно лучше согласуются с циклическими кривыми для больших комплексных групп пятен, чем с кривыми для малых пятен.

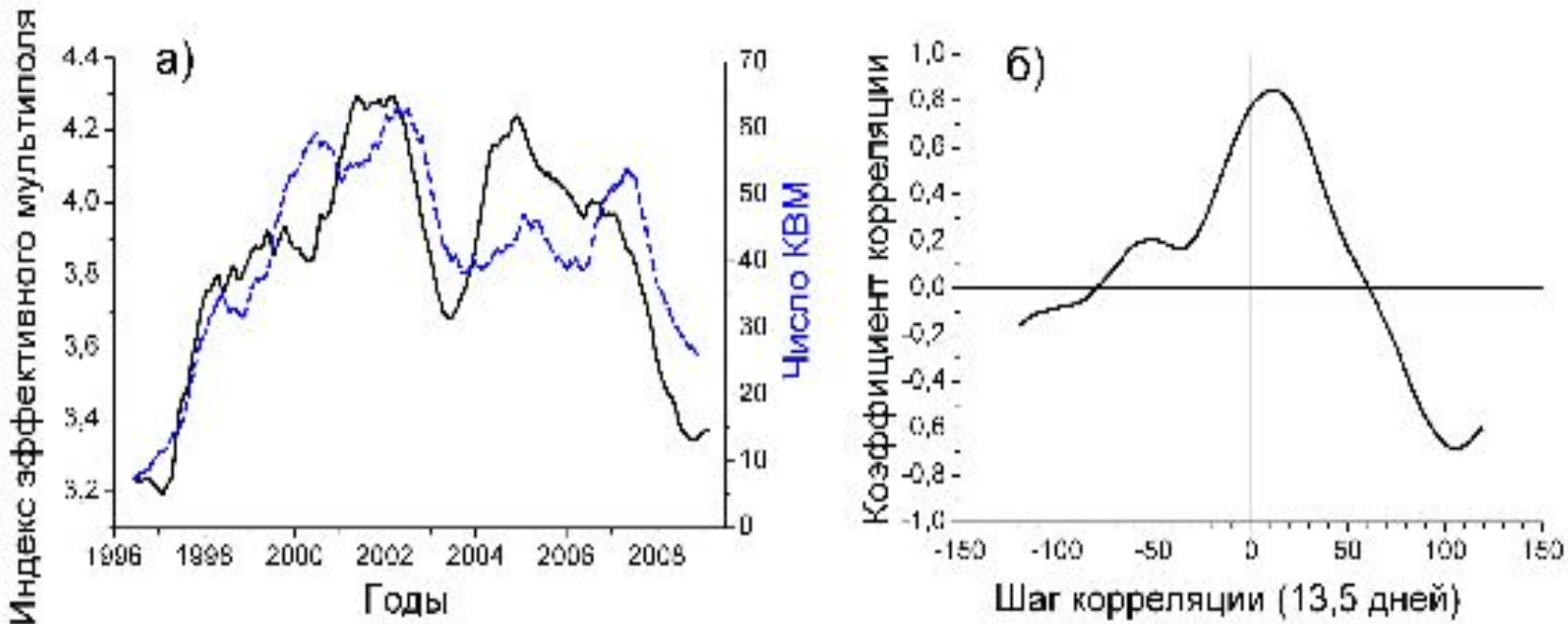


Kilcik, V. B. Yurchyshyn, V. Abramenko, P. R. Goode, A. Ozguc, J. P. Rozelot, B. and W. Cao, TIME DISTRIBUTIONS OF LARGE AND SMALL SUNSPOT GROUPS OVER FOUR SOLAR CYCLES, *The Astrophysical Journal*, 731:30 (8pp), 2011 April, 10.



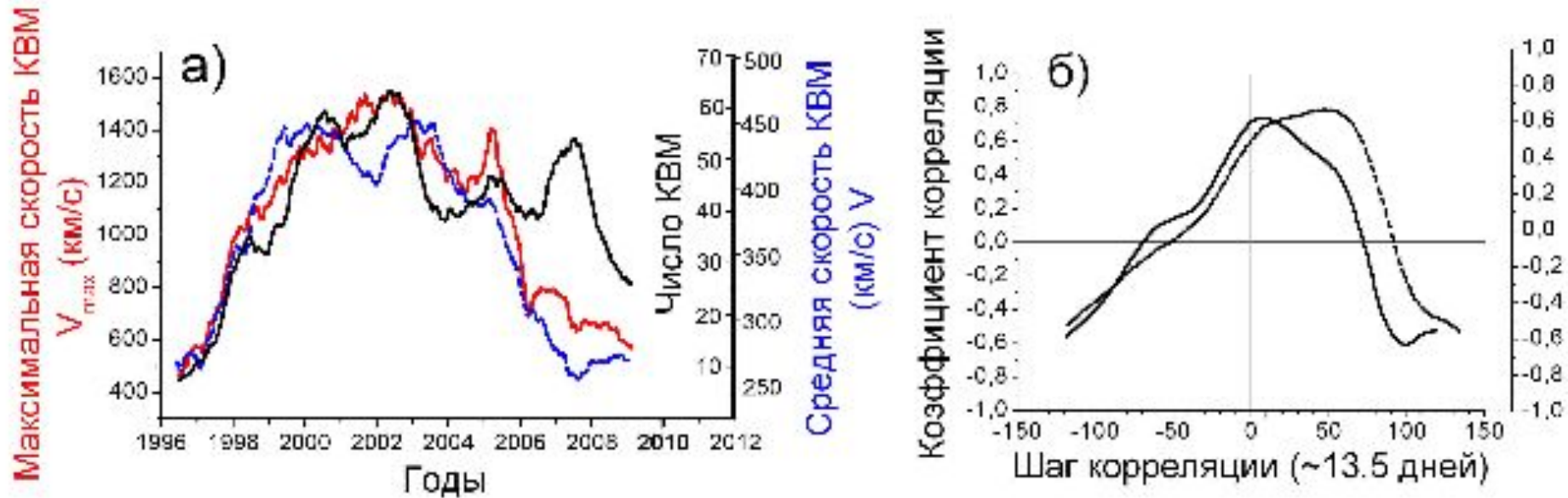


- а) Циклическая вариация индекса эффективного солнечного мультиполя (черная линия) и циклические изменения максимальной ( $V_{max}$ ) и средней ( $V$ ) скоростей корональных выбросов массы (соответственно красная и синяя линии) в 23-м цикле активности.
- б) Кросс-корреляционная функция между индексом эффективного мультиполя и максимальной и средней скоростями корональных выбросов массы (соответственно непрерывная и пунктирная линии) в 23-м цикле активности.



а) Циклическая вариация индекса эффективного солнечного мультиполя (черная линия) и частоты появления корональных выбросов массы (числа КВМ в интервале времени 13.5 суток) (голубая линия) в 23-м цикле активности.

б) Кросс-корреляционная функция между индексом эффективного солнечного мультиполя и частотой появления корональных выбросов массы в 23-м цикле активности.



а) Циклическая вариация частоты появления корональных выбросов массы (числа КВМ в интервале времени 13.5 суток) (черная линия) и циклические изменения максимальной ( $V_{max}$ ) и средней ( $V$ ) скоростей корональных выбросов массы (соответственно красная и синяя линии) в 23-м цикле активности.

б) Кросс-корреляционная функция между частотой появления корональных выбросов массы и максимальной и средней скоростями корональных выбросов массы (соответственно непрерывная и пунктирная линии) в 23-м цикле активности.



Как видно из приведенных выше рисунков наибольшим значениям максимальной скорости корональных выбросов массы (КВМ) соответствуют максимальные значения индекса эффективного солнечного мультиполя (ИЭСМ). Повидимому при уменьшении размера структурных элементов КМПС (росте ИЭСМ) создаются благоприятные условия для объединения больших и сложных групп пятен (активных областей), возникающих вблизи границ этих элементов, в единый сложный комплекс из нескольких активных областей, объединенных корональными арочными структурами. В этом случае при возникновении КВМ, сопровождающихся выбросом этой арочной системы, на ее месте возникает димминг, размер которого определяется размером существовавшей до выброса арочной структуры. При увеличении характерных размеров элементов структуры КМПС (уменьшении ИЭСМ на ветви спада) условия для создания больших и сложных комплексов активных областей ухудшаются, вследствие чего уменьшаются как размеры этих комплексов, так и мощность (скорость) КВМ, возникающих в этих комплексах. В конце фазы спада (2007-2009 гг.) при значительном росте характерных размеров элементов КМПС возникновение комплексов из нескольких активных областей и соответственно возникновение мощных высокоскоростных КВМ становится невозможным. В это время их максимальная скорость как правило не превышает 700 км/с. Одновременно наблюдается относительный рост частоты возникновения слабых низкоскоростных КВМ, возникающих в отдельных относительно небольших источниках (пятнах и эруптирующих волокнах).

В поддержку нашей точки зрения можно привести ряд работ :

1. Zhang, Y., Wang, J., Attrill, G. D. R., Harra, L. K., Yang, Z., and He, X., *Solar Phys.*, 2007, 241, 329–349

Исследованы 4 больших KBM типа гало (14 July 2000, 28 October 2003, 7 November 2004, and 15 January 2005). Обнаружено, что в образовании KBM было задействовано более 10 различных магнитных арочных систем, связывавших несколько активных областей.

2. Chertok, I.M., Grechnev, V.V.: 2005a, *Solar Phys.* 229, 95.

Grechnev, V.V., Chertok, I.M., Slemzin, V.A., Kuzin, S.V., Ignat'ev, A.P., Pertsov, A.A., Zhitnik, I.A., Delaboudinière, J.-P., Auchère, F.: 2005, *J. Geophys. Res.* 110, 9S07.

Черток и Гречнев также нашли несколько диммингов, имеющих размеры порядка радиуса или даже диаметра солнечного диска и показали, что эти димминги связывают между собой несколько активных областей.

3. И.М. Черток, А.В. Белов, В.В. Гречнев, *Известия РАН, Серия физическая*, 2011, т.75, №5, 4 с.

С ростом магнитного потока области на Солнце, занятой диммингом, растет скорость KBM .

4. Reinard, A. A., Biesecker, D.A., *The Astrophysical Journal*, Volume 705, Issue 1, pp. 914-919 (2009).

KBM, сопровождавшиеся диммингами, имели более высокие скорости, чем KBM без диммингов.

# Выводы

1. Циклические вариации наиболее заметных проявлений солнечной активности (больших комплексных групп солнечных пятен, мощных и высокоскоростных корональных выбросов массы) коррелируют с циклическими изменениями крупномасштабной структуры магнитного поля Солнца. Поэтому при прогнозировании наиболее мощных и следовательно наиболее геоэффективных явлений на Солнце необходимо учитывать параметры характеризующие структурные изменения крупномасштабного магнитного поля Солнца.
2. Источником наиболее мощных КВМ является комплекс активных областей, объединенных крупномасштабной системой арочных волокон, связывающих между собой эти активные области. Как правило одним из основных признаков существования такой крупномасштабной системы является наличие димминга, сопровождающего КВМ.
3. При исследовании циклического поведения различных проявлений солнечной активности нельзя пользоваться средними индексами, рассчитанными для всей совокупности событий. Необходимо рассчитывать эти индексы отдельно для различных классов событий (например отдельно для мощных и слабых событий).



**Спасибо за внимание!**

