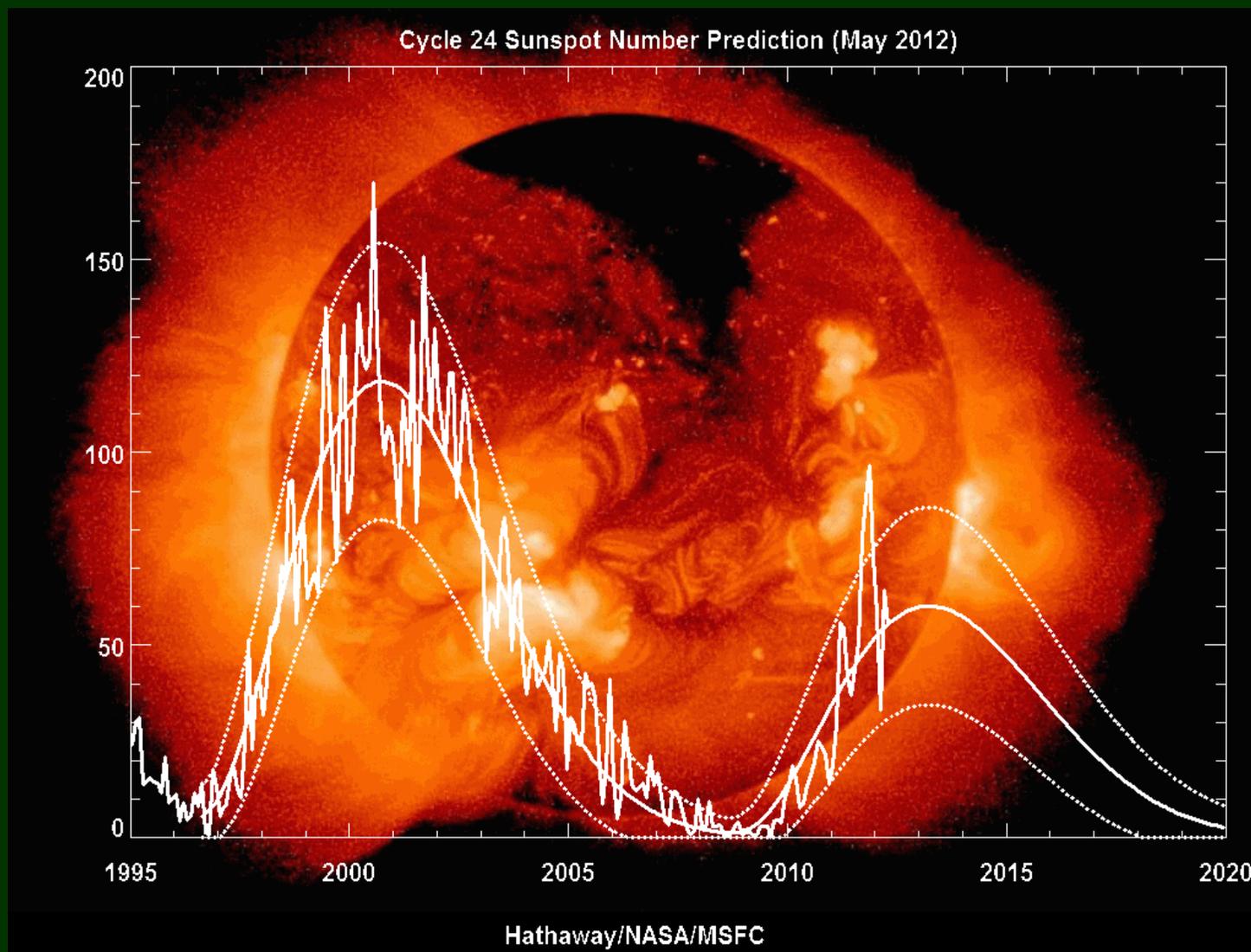


# ТЕКУЩИЙ 24 ЦИКЛ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: ЭВОЛЮЦИЯ, ОСОБЕННОСТИ, АКТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ

В.Н. ИШКОВ [ishkov@izmiran.ru](mailto:ishkov@izmiran.ru)



- Фаза минимума 23-24 солнечных циклов.
- Основные характеристики текущего 24 цикла SA.
- Группы пятен: асимметрия их образования по полушариям, распределение по размерам, пульсации пятнообразования, дефицит больших групп пятен.
- SDO и новые возможности наблюдений вспышек.
- Вспышечная активность: распределение по рентгеновским баллам, геоэффективность, протонные события, выбросы солнечных волокон, глобальные вспышечные события.
- КД: геоэффективность не восстановилась, рекуррентные возмущения (магнитные бури).
- Прогноз развития текущего солнечного цикла.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- – Развитие текущего 24 цикла солнечной активности идёт по сценарию низких солнечных циклов ( $W^* \leq 80$ ), впервые с начала XX века (солнечный цикл 14), но ещё не исключается возможность сценария цикла средней величины;
- – за 3.5 лет своего развития текущий цикл с большой вероятностью достиг фазы максимума. Под фазой максимума в данном докладе принимается период времени развития цикла, когда значения сглаженного числа Вольфа лежат в интервале 15% от максимальной величины, т.е. при таком развитии сценария  $W_{\max} = 80$ ;
- – вспышечная активность на самом низком уровне за последние 70 лет (18 -23 циклы SA) – за 3.5 лет развития на Солнце осуществилось 32 большие солнечные вспышки, среди которых две вспышки с баллом  $X > 5$  и 10 вспышек с баллом  $X \geq 1.0$ , 2 солнечных протонных события с потоком протонов  $\geq 1000$  p.f.u. (S3) и 3 события с  $\geq 100$  p.f.u.

Фаза минимума, начавшаяся в мае 2005 г., продлилась до XII 2010 г., захватив первые 24 месяца развития текущего 24 цикла СА. Беспрецедентная длительность спада  $W$ , в ходе которого как Солнце, так и гелиосфера достигли рекордно низких значений по основным параметрам.

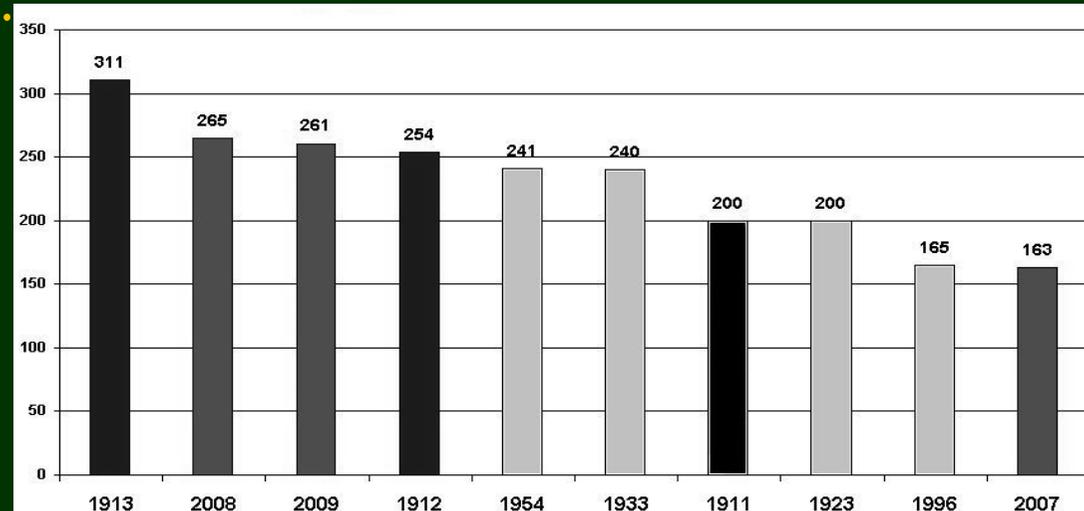
Количество беспятенных дней в фазе минимума:

2009—**260<sup>d</sup>** (71%); 2010—**51<sup>d</sup>** (44%); 2011—**2<sup>d</sup>**; всего с 2004 г. - **821<sup>d</sup>**

Типичное среднее для фаз минимумов циклов — **486<sup>d</sup>**

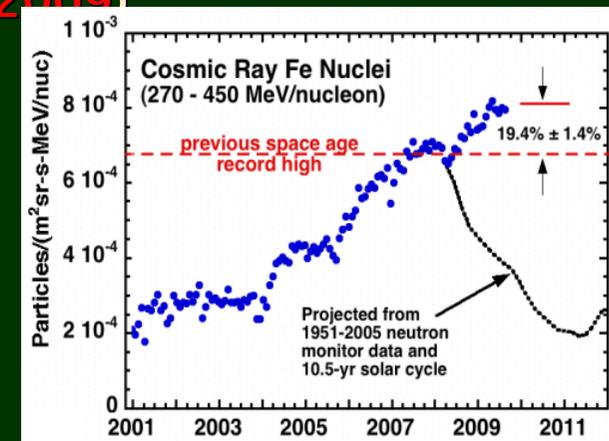
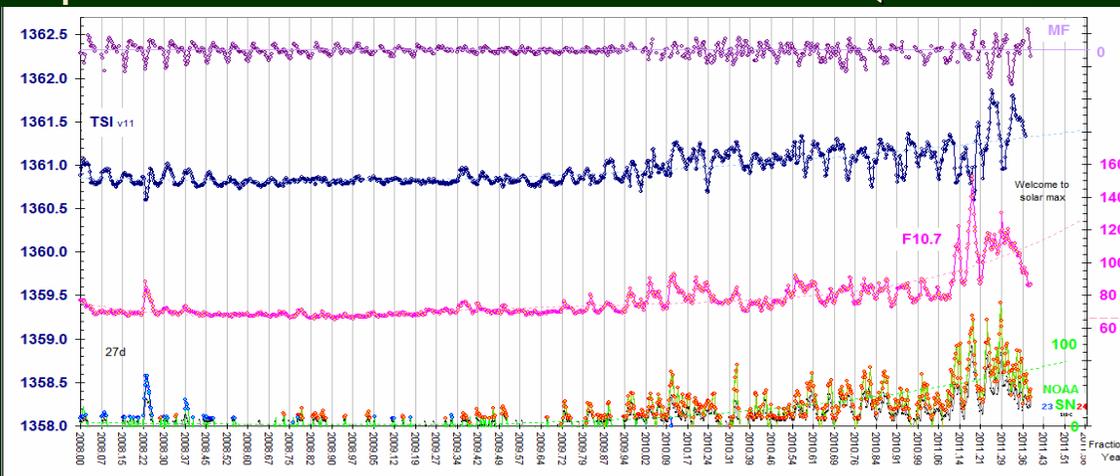
РЕКОРД: 13 – 14 солнечных циклы — **1019<sup>d</sup>** : 1913 – **311<sup>d</sup>** (85%);

За 100 лет последовательно пятна отсутствовали в течение 92<sup>d</sup> —  
в мае, апреле, июне 1913 г.



Некоторые параметры последнего минимума СА:

- **10.7 см**: наибольший интервал самых низких значений (с 1947 г.) в VII 2008 г. – II 2009 г.  $F \sim 68$  sfu.
- Уровень солнечной постоянной в 2007–2009 годах – самое низкое значение за всё время внеатмосферных измерений на 1 а.е. –  $> 0.2$  Вт · м<sup>-2</sup> ниже, чем в 1996 г. (VIRGO Fröhlich, C., 2008) .
- Магнитный поток на поверхности Солнца на полюсах на 40% слабее по сравнению с прошлым минимумом СА; (Gibson et al , 2009)
- Магнитные поля в СВ над полюсами уменьшились примерно втрое, также как и плотность (10 – 20%) и скорость (~3%) солнечного ветра;
- Площадь полярных КД существенно уменьшилась (Gibson et al , 2009);
- Уменьшение средней величины магнитного поля гелиосферы привело к тому, что поток галактических космических лучей в межпланетном пространстве значительно вырос, и по измерениям ядер железа с энергиями 250–450 MeV/нуклон это увеличение достигло 20% от прошлых максимальных значений (Ebert et al , 2009)

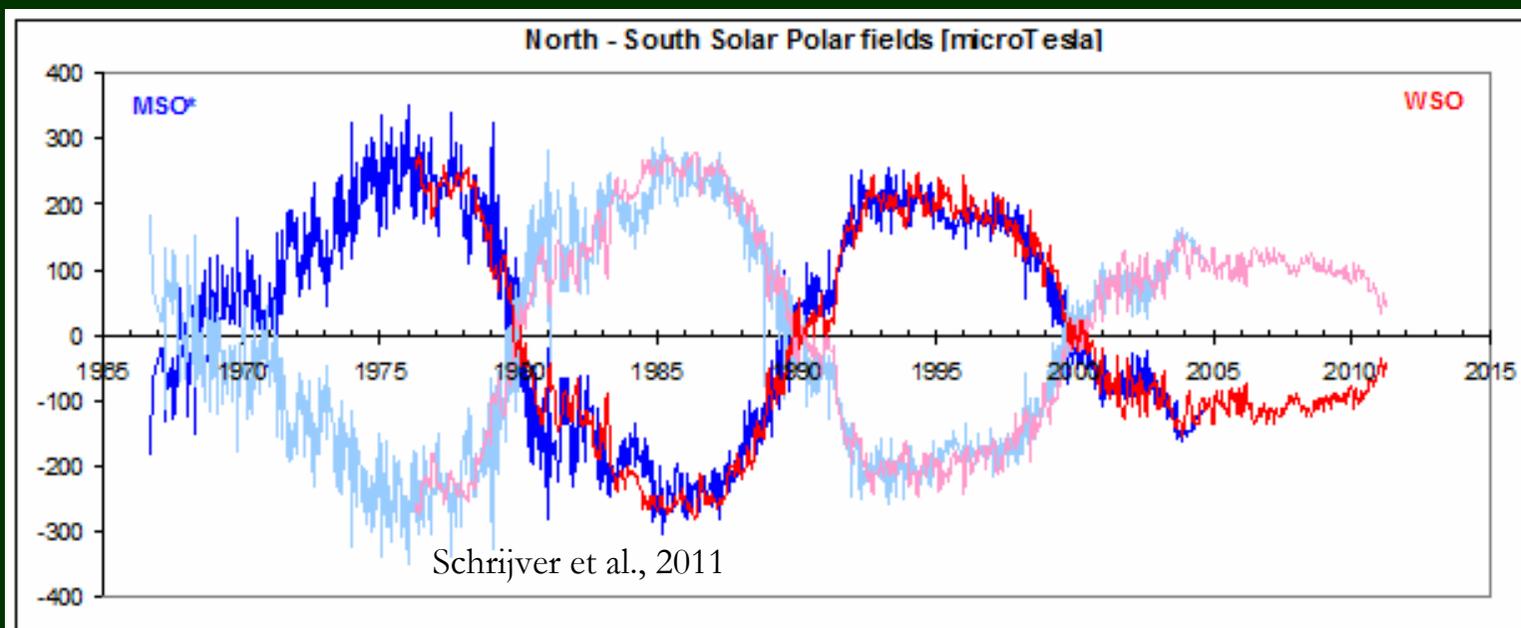


- В околоземном космическом пространстве:

- средняя напряжённость МП в солнечном ветре стала ниже на 15%,  
- средняя плотность солнечного ветра стала ниже (на ~45%).

- Однако скорость солнечного ветра у Земли возросла в среднем на 13%. Кроме того, произошла полная перестройка характерных периодов собственных колебаний, как в характеристиках солнечного ветра, так и в индексах, характеризующих авроральную зону и радиационные пояса.

- Высокоскоростные потоки солнечного ветра от больших приэкваториальных корональных дыр стали более интенсивными, длительными, но средняя плотность в частиц в них значительно упала, поэтому и степень их геоэффективности, воздействия на ОКП стало более слабым (Gibson et al, 2009).



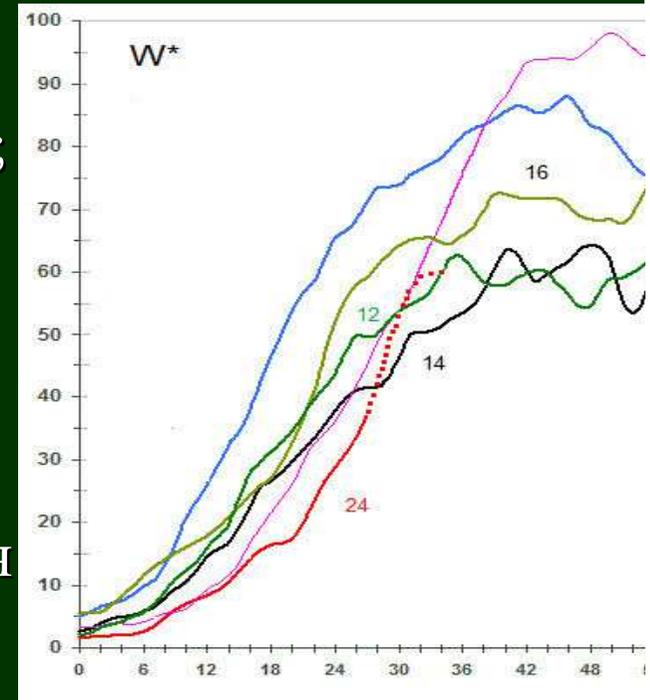
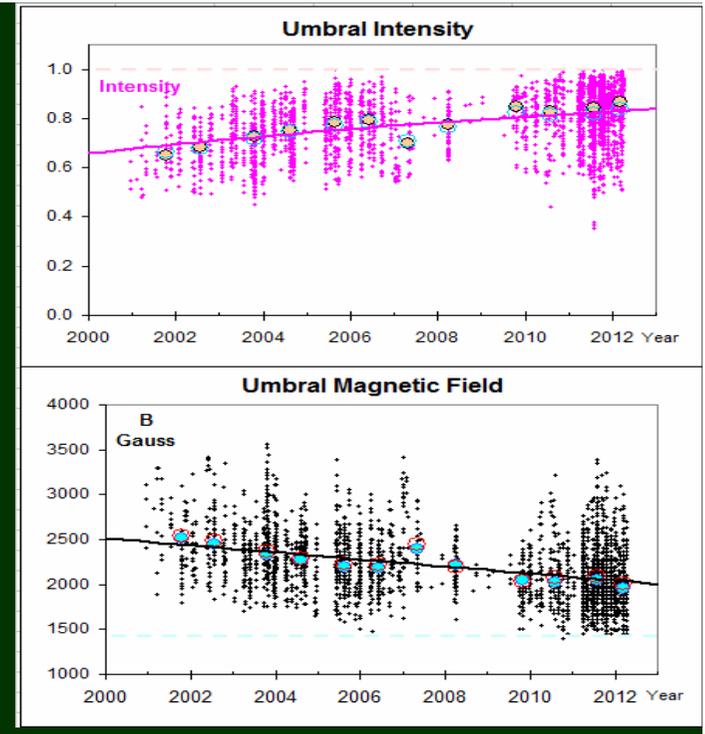
## Основные этапы развития текущего 24 цикла солнечной активности следующие:

- минимум 23 солнечного цикла – декабрь 2008 г. ( $W^* = 1.7$ );
- начало 24 цикла СА – январь 2009 г.
- начало фазы роста – январь 2011 г.;
- ожидаемый максимум относительного числа солнечных пятен – X 2012 – VI 2013 г.;
- появление первой большой группы – X 2010 г. , а первой очень большой – начало XI 2011 г.;
- первая и единственная мощная солнечная вспышка X6.9/2B осуществилась в группе пятен (N-полушария) 9 VIII 2011 г.

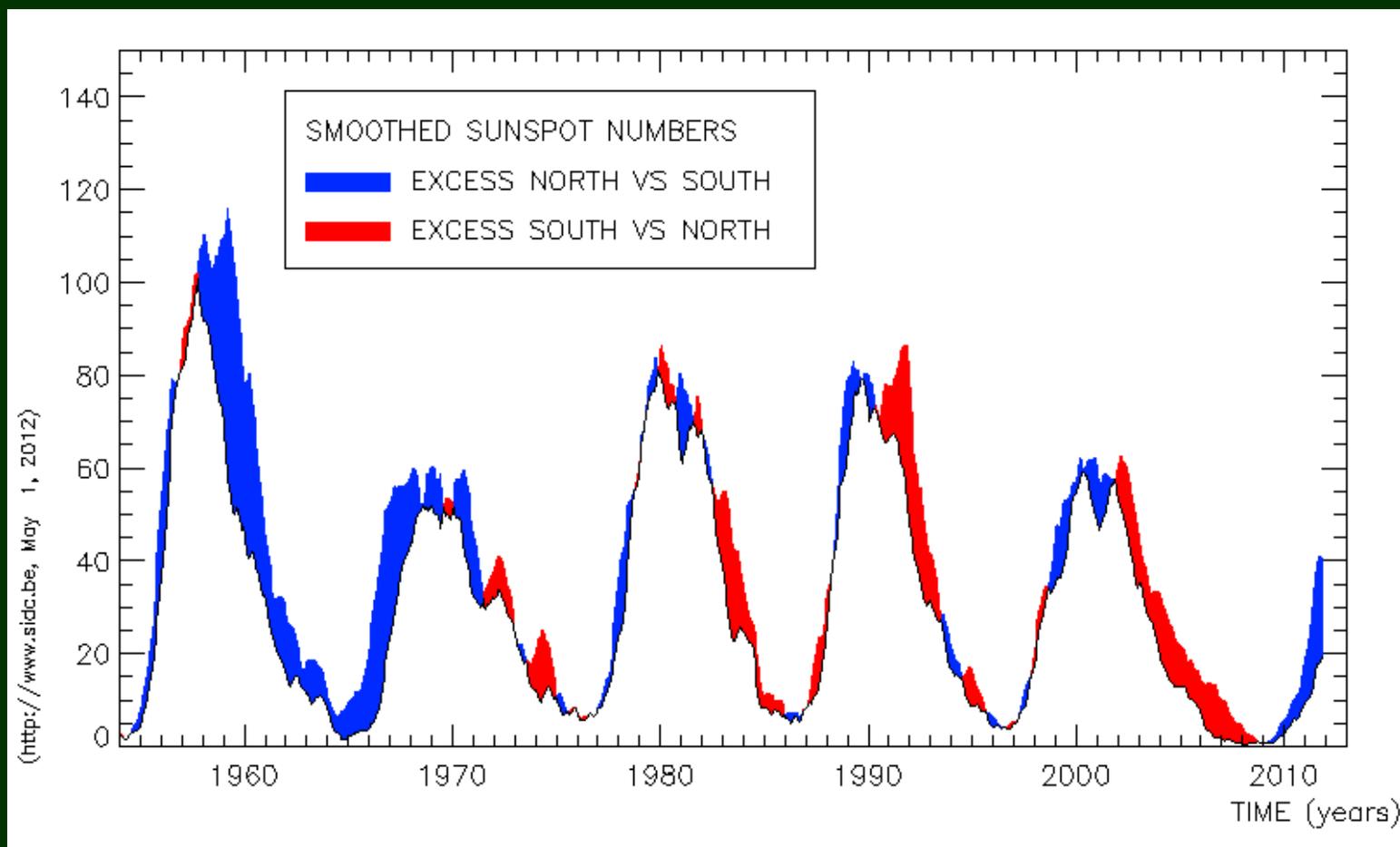
24 цикл СА: С января 2009 г.:  $W^* = 1.8; 1.9; 2.0; 2.2; 2.3; 2.6, 3.6, 4.8, 6.1, 7.9, 7.6, 8.3, 2010: 9.3, 10.6, 12.3; 14.0, 15.5, 16.4, 16.8, 17.4, 19.6, 23.2, 26.5, 28.8, 2011: 31.0, 33.4, 36.9, 41.8, 47.6, 53.2$

## Основные характеристики текущего цикла СА после 36 месяцев его развития:

- начало – I / 2009 года, и  $W^*_{\text{мин}} = 1.7$ ;
- первая группа в N-полушарии в I 2008, а в S – V / 2008;
- начало фазы роста – IV / 2011 г. ( $W = 54.4$ ,  $F_{10.7} = 12.6$ ), когда видимый диск Солнца проходили сразу 3 группы пятен среднего размера с  $S > 300$ ;
- с начала цикла наблюдается явное преобладание появления пятен в N полушарии Солнца;
- первая вспышка ( $M \geq 5$ ) – II / 2010 г. в АО в N;
- магнитное поле в тени пятен продолжает уменьшаться, а яркость тени растёт;
- последние точки на кривой развития дают, что резко повысилась вероятность того, что текущий цикл попадает в семейство СЦ низкой величины.
- сохраняется сильная асимметрия появления групп пятен в пользу северного полушария.



– сохраняется сильная асимметрия появления групп пятен в пользу северного полушария : за 3.5 года развития (на 10.05. 2012 г.) на видимом диске Солнца появилось **477** группы пятен, из которых **292** образовались в северном полушарии и **185** – в S-полушарии;



## FLARE ACTIVE REGIONS OF XXIV SOLAR CYCLE

- AR11041 (S25L052; CMP Sp=200) ; XRI= 1.18;  $M_6^{3.4}$ ; ПБЭ (14<sup>h</sup>)– 20.01.10
- AR11045 (N24L250; CMP Sp=420); XRI=1.52;  $M_8^{6.4}+C$ ; ПБЭ (72<sup>h</sup>)6– 9.02.10
- AR11046 (N24L186; CMP Sp=190); XRI= 0.83;  $M_1^{8.3}+C$ ;

### Rapid evolution after 10.02 and flare M8.3 — 12.02.2010

- AR11079 (S26L117; CMP Sp= 010); XRI= 0.3;  $M_2^{2.0}+C$ ; ПБЭ(29<sup>h</sup>) 12–13.06.10
- AR11081 (N22L098, 11.06<sub>W43</sub>; Sp=090); XRI=0.3;  $M_2^{2.0}$ ; ПБЭ(29<sup>h</sup>) 12-13.06
- AR11093 (N10L355; CMP 10.08.10; Sp=250); XRI=0.1;  $M_1$ ; ПБЭ(45<sup>h</sup>) 6 -7.08
- AR11112 (S20L204, CMP 14.10,5.10, Sp= 180); XRI=0.29;  $M_1^{2.6}$ .
- AR11121 (S19L121, CMP 10.11.10, Sp=090); XRI=0.74;  $M_3^{5.4}$ ; ПБЭ(16<sup>h</sup>) 5-6.10;
- AR11166 (N10L095, CMP 8.03.11;Sp=750); XRI=2.16;  $X_1^{1.5}+M_4$ ; ПБЭ (45<sup>h</sup>) 8-9.3
- AR11149 (N18L070, CMP 20.01.11, Sp=160); XRI=0.13; M11.3;
- AR11153 (N15L172, CMP 03.02.11, Sp=180); XRI=0.19; M11.9;

### Appearance at 04.02 on W18, flare M1.9 - 09.02

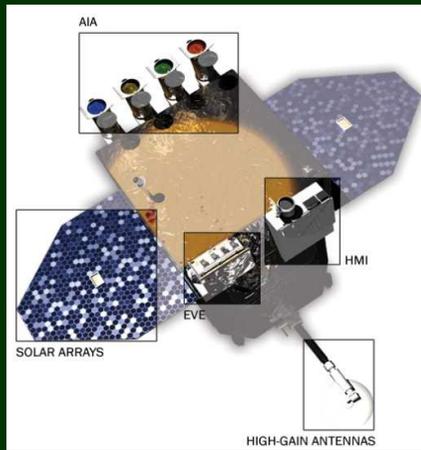
- AR11158 (S19L036, CMP 13,4.02.11, Sp=620); XRI=3.59; X12.2+M66.6;  
ПБЭ (69h) 13-16.02; Appearance at 11.02 on E25;
- AR11165 (S22L181, CMP 2,3.03.11; Sp=420) XRI=1.53; M65.3; ПБЭ (22h) 7-8.03;

### Appearance at 26.02 on E43;

- AR11166 (N10L095, CMP 8.03.11; Sp=750); XRI=2.16;  $X_1^{1.5}+M_4$ ; ПБЭ (45) 8-9.03;
- AR11261 (N16L330, CMP 01.08.11; Sp=390); XRI=2.71;  $M_5^{9.3}$   
ПБЭ1 30.04 - M9.3; ПБЭ 2 (23<sup>h</sup>) 3-4.08 - M<sub>2</sub> ;
- AR11263 (N17L301, CMP 3.08.11 Sp=720 ) XRI=7.67;  $X_1^{6.9}+M_3$  ПБЭ (13<sup>h</sup>) 8–9.08;
- AR11283 (N12L227, CMP 6.09.11, Sp=230; XRI= 5.60;  $X_2^{2.1}+M_5$ ),  
ПБЭ (61<sup>h</sup>) 6–8.09 -  $X_2^{1.8}+M_2$ ;
- AR11302 (N13L280, CMP28.09.11; Sp=1300; XRI=8.73;  $X_2^{1.9}+M_{17}+C_{72}$  ПБЭ (66<sup>h</sup>)
- AR11339 (N19L103, CMP 8.11.11, Sp=1540) XRI=4.18;  $X_1^{1.9}+M_9$ ; ПБЭ (59<sup>h</sup>) 2 -5.11
- AR11402 (N26L212, CMP 21.01.12; Sp=500) XRI=2.89;  $X_1^{1.7}+M_4$
- AR11429 (N18L301, CMP 9.03.12, Sp=1270) XRI=11.92,  $X_2^{5.4}+M_{14}$ ; ПБЭ (48<sup>h</sup>) 5-7.3

## SDO

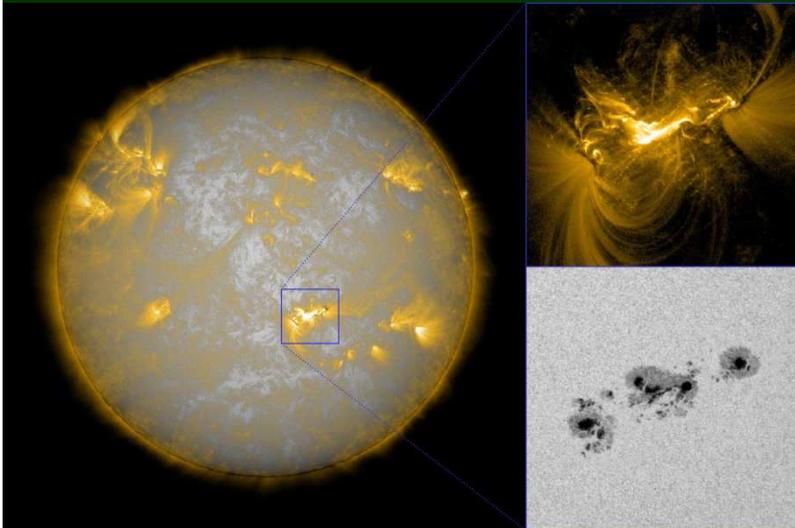
HMI – The heliospheric and Magnetic Imager  
 EVE –Extreme Ultraviolet Variability  
 Experiment



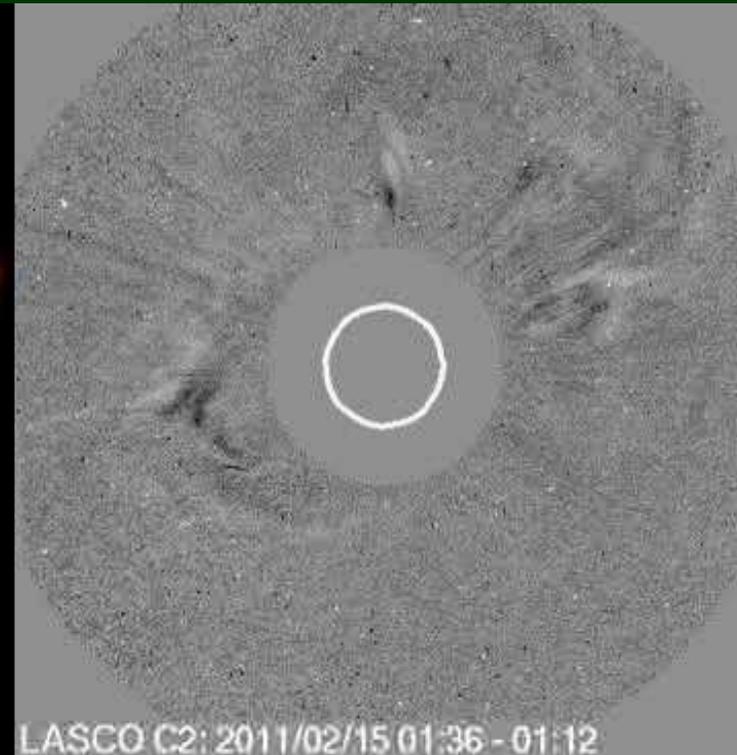
## The Atmospheric Imaging Assembly (AIA)

■ $\lambda$	Region of solar atmosphere	Temperature
■ <u>White Light</u>	<u>Photosphere</u>	5000 <u>K</u>
■ 170 <u>nm</u>	Temperature minimum, <u>photosphere</u>	5000 <u>K</u>
■ 160 <u>nm</u>	<u>Transition region</u> & <u>photosphere</u>	105 & 5000 <u>K</u>
■ 30.4 <u>nm</u>	<u>Chromosphere</u> & <u>transition region</u>	50,000 <u>K</u>
■ 17.1 <u>nm</u>	Quiet <u>corona</u> , upper <u>transition region</u>	$6.3 \times 10^5$ <u>K</u>
■ 19.3 <u>nm</u>	<u>Corona</u> & hot <u>flare plasma</u>	$1.2 \times 10^6$ & $2 \times 10^7$ <u>K</u>
■ 21.1 <u>nm</u>	<u>Active region corona</u>	$2 \times 10^6$ <u>K</u>
■ 33.5 <u>nm</u>	<u>Active region corona</u>	$2.5 \times 10^6$ <u>K</u>
■ 9.4 <u>nm</u>	<u>Flaring</u> regions	$6.3 \times 10^6$ <u>K</u>
■ 13.1 <u>nm</u>	<u>Flaring</u> regions	$4 \times 10^5$ , $10^7$ & $1.6 \times 10^7$ <u>K</u>

– **AR 11158** (S19L036, CMP  
13,4.02.11), Sp=620); **XRI=3.59**;  
X<sub>1</sub><sup>2.2</sup>+M<sub>6</sub><sup>6.6</sup>+C<sub>48</sub>; **ΠBΘ** (69<sup>h</sup>) 13-16.02;  
Appearance at 11.02 on E25;

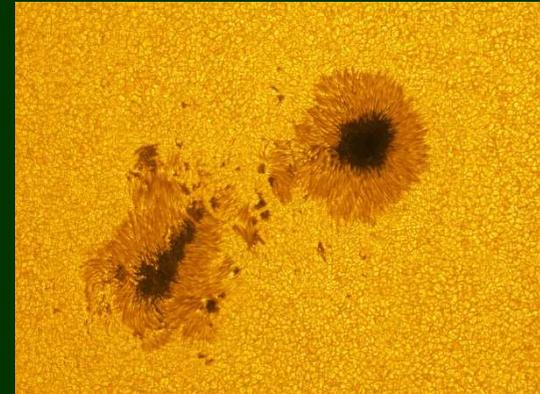


20100213 1728 1738 1846 **M6.6/1N** .04 S20E04L036 **11158** II/1  
20100215 0144 0156 >0206 **X2.2/** .16 S20W15L036 **11158** II/2 CME/H Pr/2.6

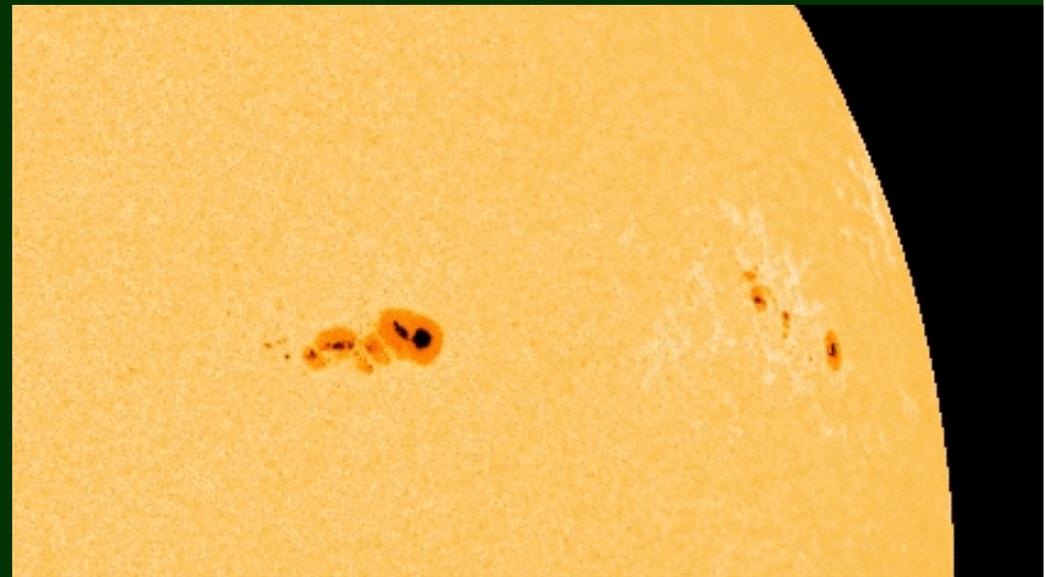
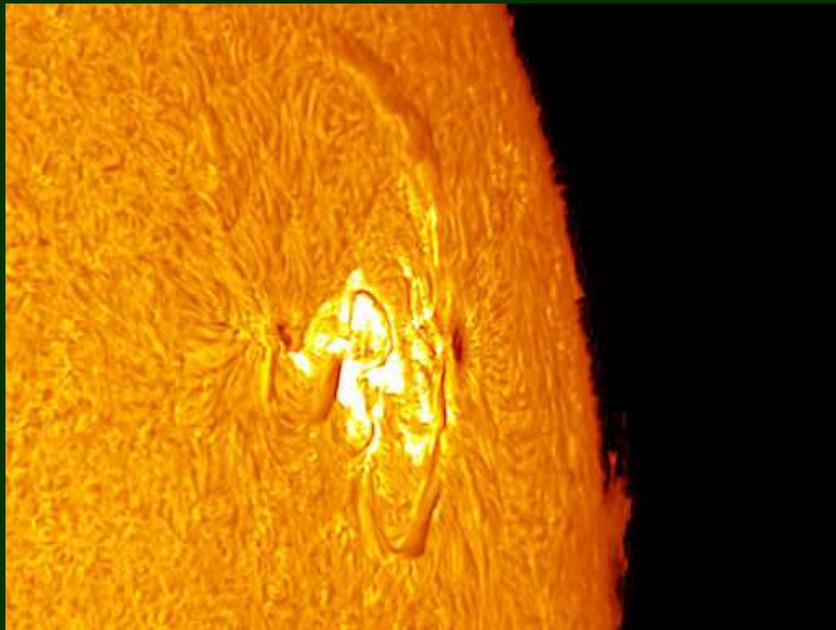




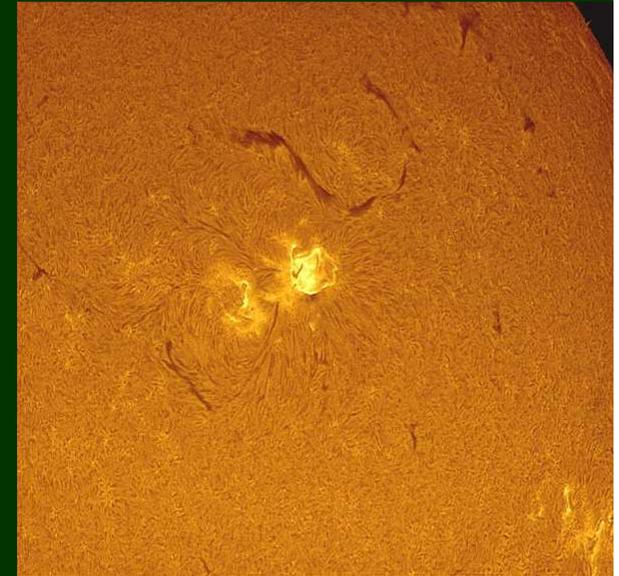
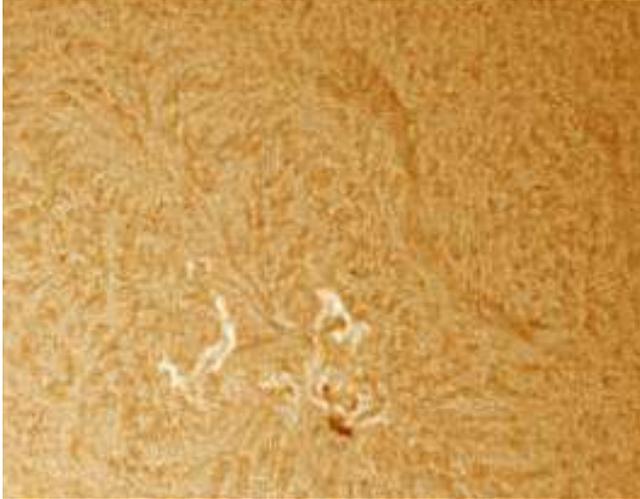
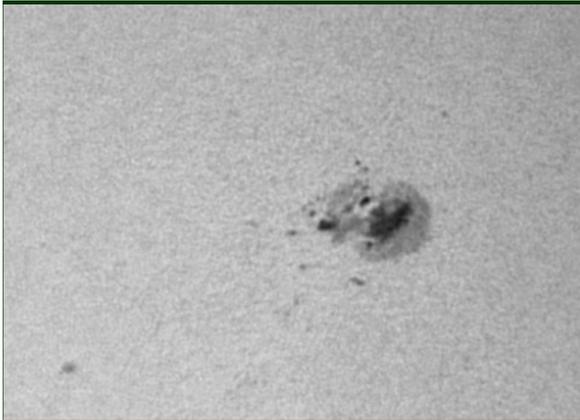
–AR11263 (N17L301, CMP 3.08.11,  
 $S_p=720$ ); XRI=7.67;  $X_1^{6.9}+M_3+C_{33}$   
 ПВЭ (13<sup>h</sup>) 8–9.08 -  $X_1^{6.9}+M_2$ ;



20110808	1800	1810	1855	M3.5/1B	.022	N16W61L301	11263	II/1	R /1828/12-25	08   2000 / 4
20110809	0319	0354	0439	M2.5/1B	.035	N18W68L301	11263		R2/0326/25-50	
20110809	0748	0805	0904	X6.9/2B	.190	N17W69L301	11263	II/1	R3/0805/25-50	09   1210/26



AR11283 (N12L227, CMP 6.09.11,  
 $S_p=230$ ; XRI= 5.60;  $X_2^{2.1}+M_5$ ),  
 ПБΘ (61<sup>h</sup>) 6–8.09 -  $X_2^{1.8}+M_2$ ;



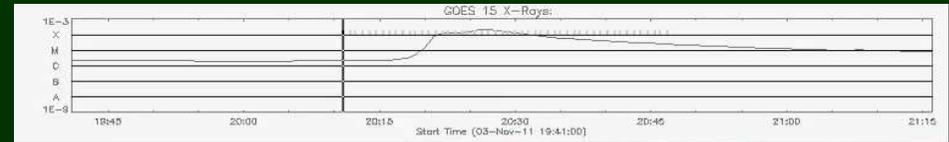
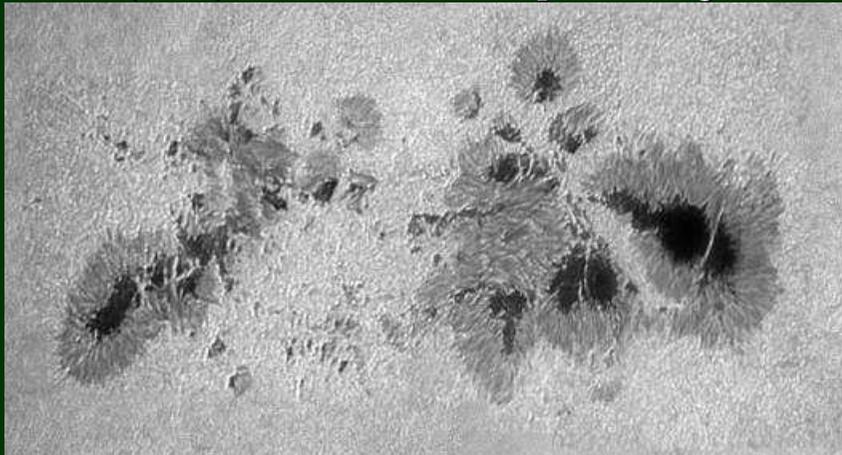
110906	0135	0150	0236	M5.3/1B	.05	N14W07L224	11283	II <sub>3</sub> IV <sub>1</sub>	R /0146/25-50	Pr/2.4
110906	2212	2220	0029	X2.1/2B	.06	N14W18L224	11283	II <sub>2</sub> IV <sub>3</sub>	CME R /2220/100-300	Pr
110907	2232	2238	>2348	X1.8/3B	.07	N14W28L224	11283	II <sub>1</sub> IV <sub>1</sub>	CME R /2303/06-12	
110908	1532	1546	1632	M6.7/1N	.042	N14W40L224	11283	IV <sub>1</sub>	R /1544/50-100	

AR11339 (N19L103,  $S_p=1540$ ;

CMP 6.11.11;

XRI=4.18;  $X_1^{1.9}+M_9+C_{38}$ ),

$\Pi B \Theta$  (59<sup>h</sup>) 2 -5.11 -  $X_1^{1.9}+M_5$

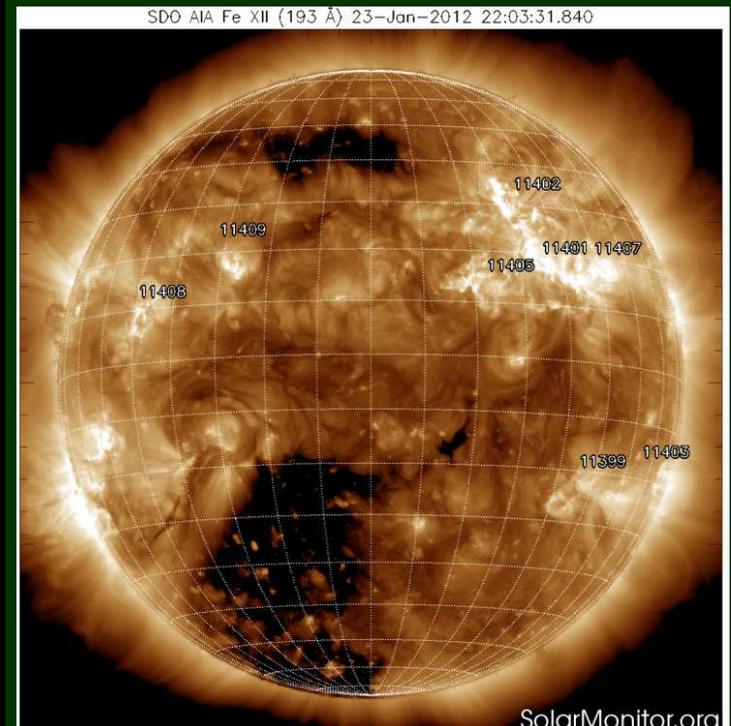
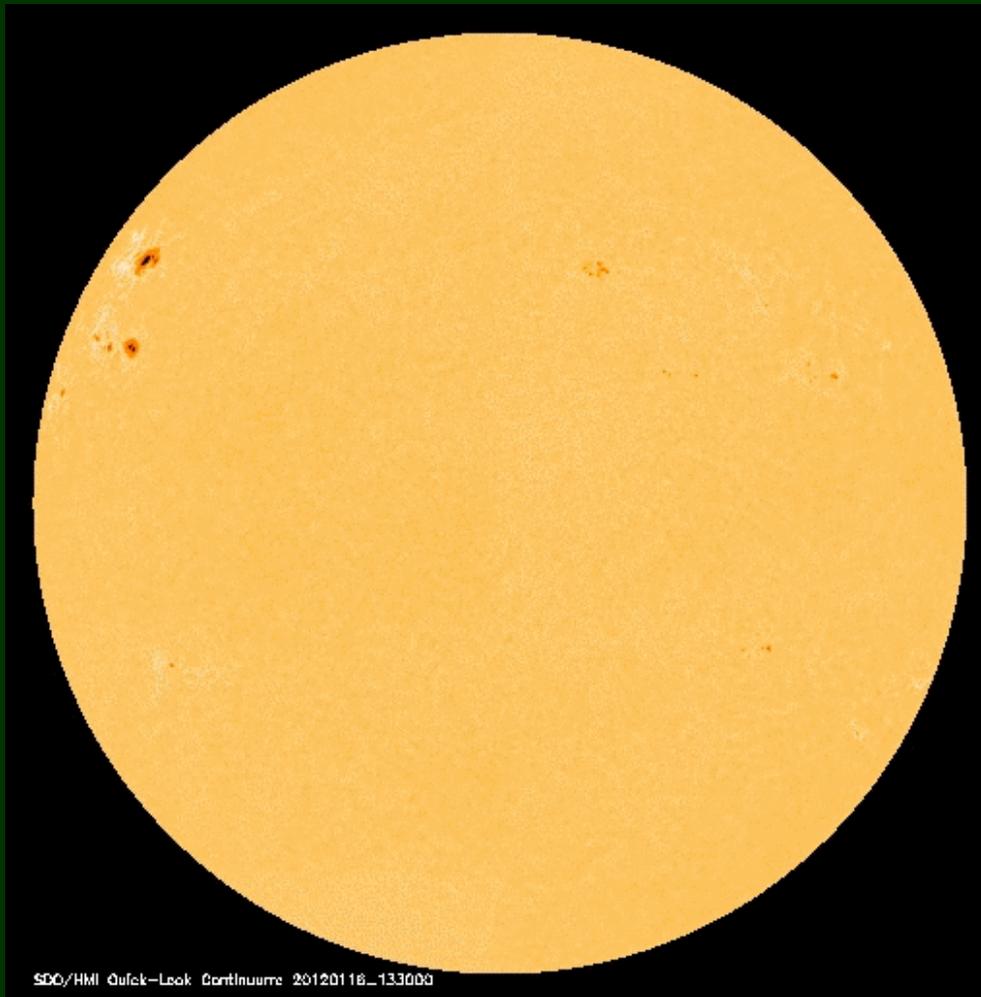
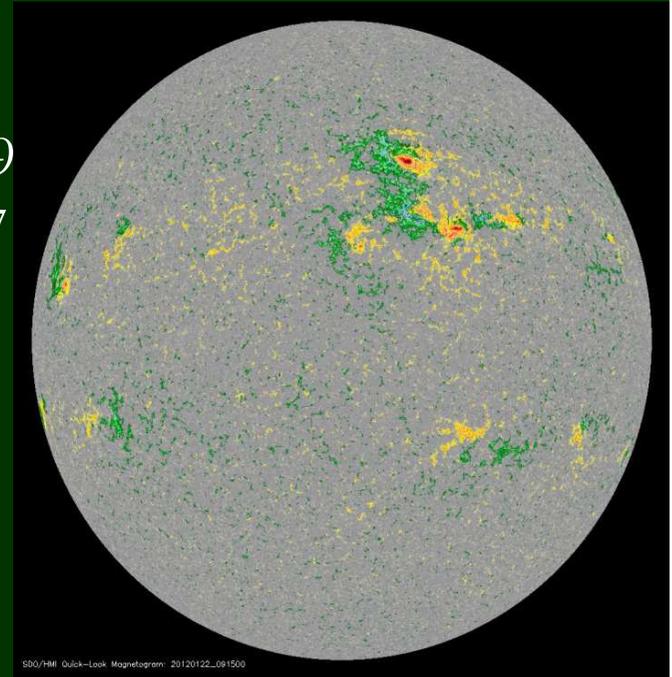


2011/11/03 20:11:07.B40

20111102	2152	2201	2242	M4.3/SN	.045	N20E73L117	11339	CME/0136?
20111103	1058	1101	1137	M2.5/SF	.020	N22E69L117	11339	
20111103	2016	2027	2140	X1.9/2B	.100	N22E63L117	11339	CME/o/2312 !!
20111103	2328	2336	>2344	M2.1/1N	.014	n22e67L117	11339	Pr/03.6
20111104	2031	2040	2058	M1.0/SF	.006	N18E46L117	11339	
20111105	0308	0335	>0358	M3.7/1F	.082	N20E46L117	11339	
20111105	1025	1121	<1237	M1.1/SN	.017	N21E42L117	11339	
20111105	2031	2038	2139	M1.8/1N	.016	N21E34L117	11339	

# KAO

{AR11402 N26L212, CMP 21,1.01.2012; XRI=2.89  
AR11403 N15L215, CMP 20,9.01 2012; XRI=0.27  
AR11405 N13L202, CMP 21,8.01 2012;  
AR 11407 N17L228, CMP 20,0.01.2012 }

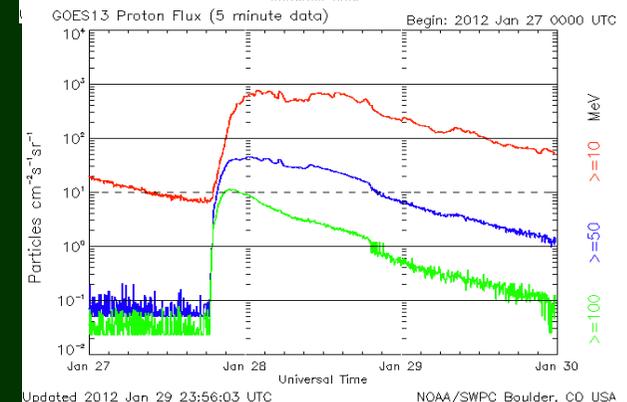
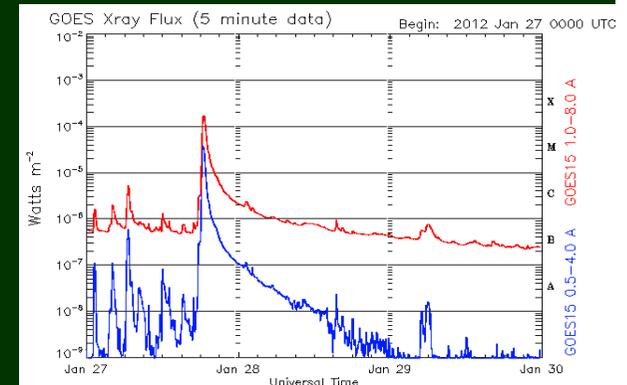
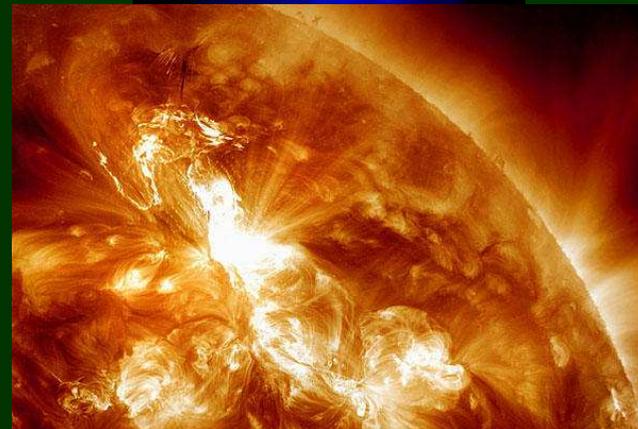
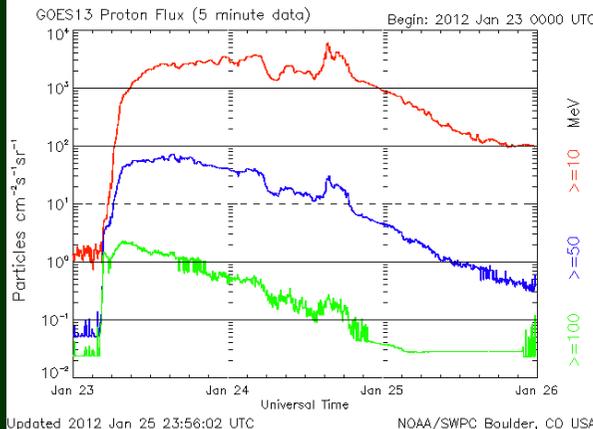
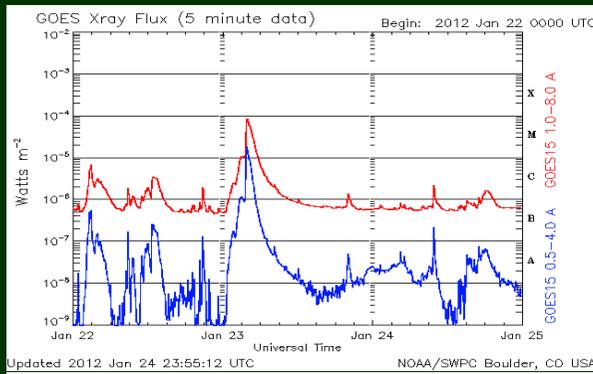


POLAR 2012, IZMIRAN

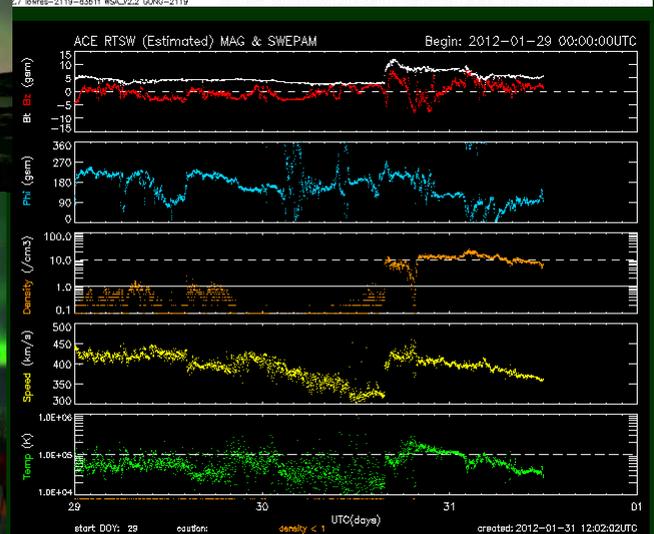
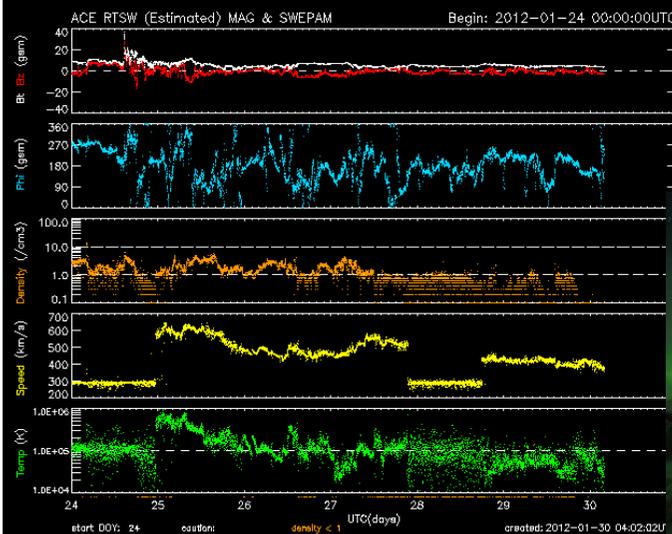
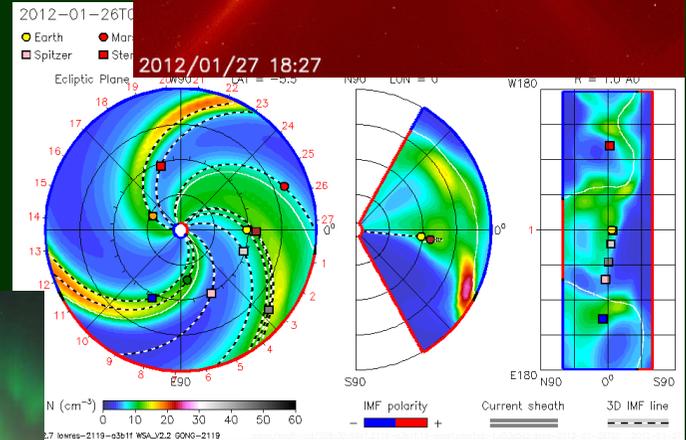
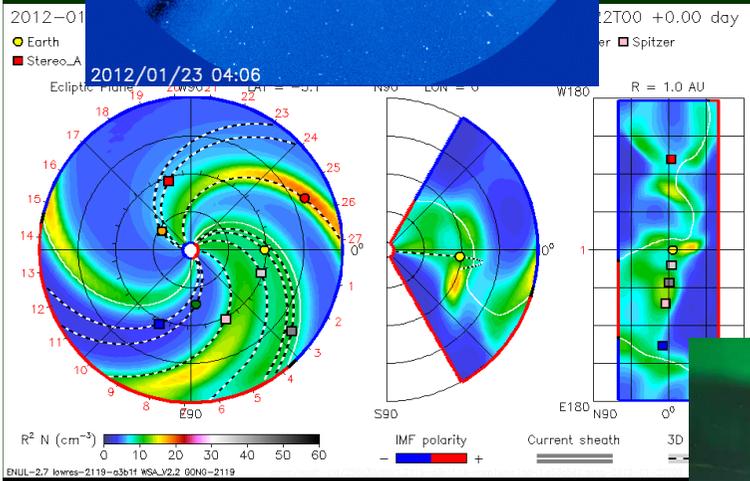
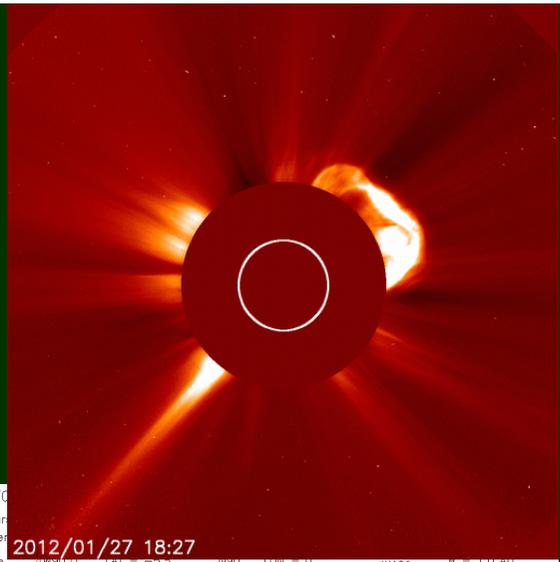
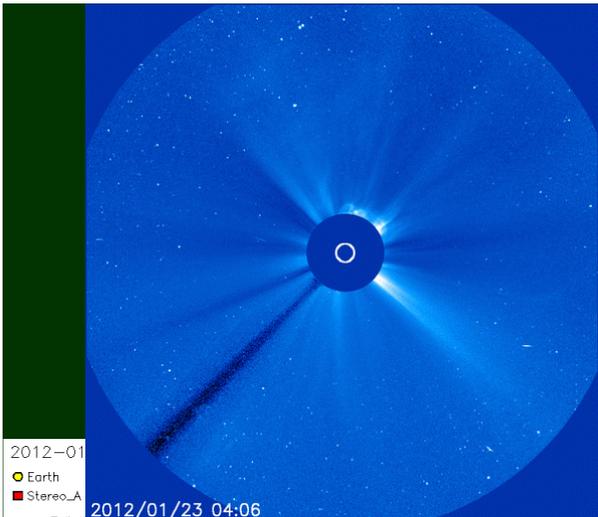
17.01/0441 0453 0519 N18E54L212 M1.0/1N 1.1E-2 11402  
 18.01/1904 1912 2018 N17E33L212 M1.7/1N 1.5E-2 11402  
 19.01/1344 1605 2001 N32E22L212 M3.2/SF 2.7E-1 11402 IV<sub>1</sub> CME  
 /1524 1607 2001 N30E30L212 /2N 11402 II<sub>1</sub> IV<sub>1</sub> CME/H  
 23.01/0256 0359 0553 N28W21L212 M8.7/2B 2.0E-1 11402 IV<sub>2</sub> CME/H  
 27.01/ 1737 1837 1913 N27W71L212 X1.7/1F 1.5E-2 11402 II<sub>3</sub> IV<sub>2</sub> CME/H

Pr (E>10 MeV) - to 23/0530 UT, tm -23/2330 UT - 6310 p.f.u.;

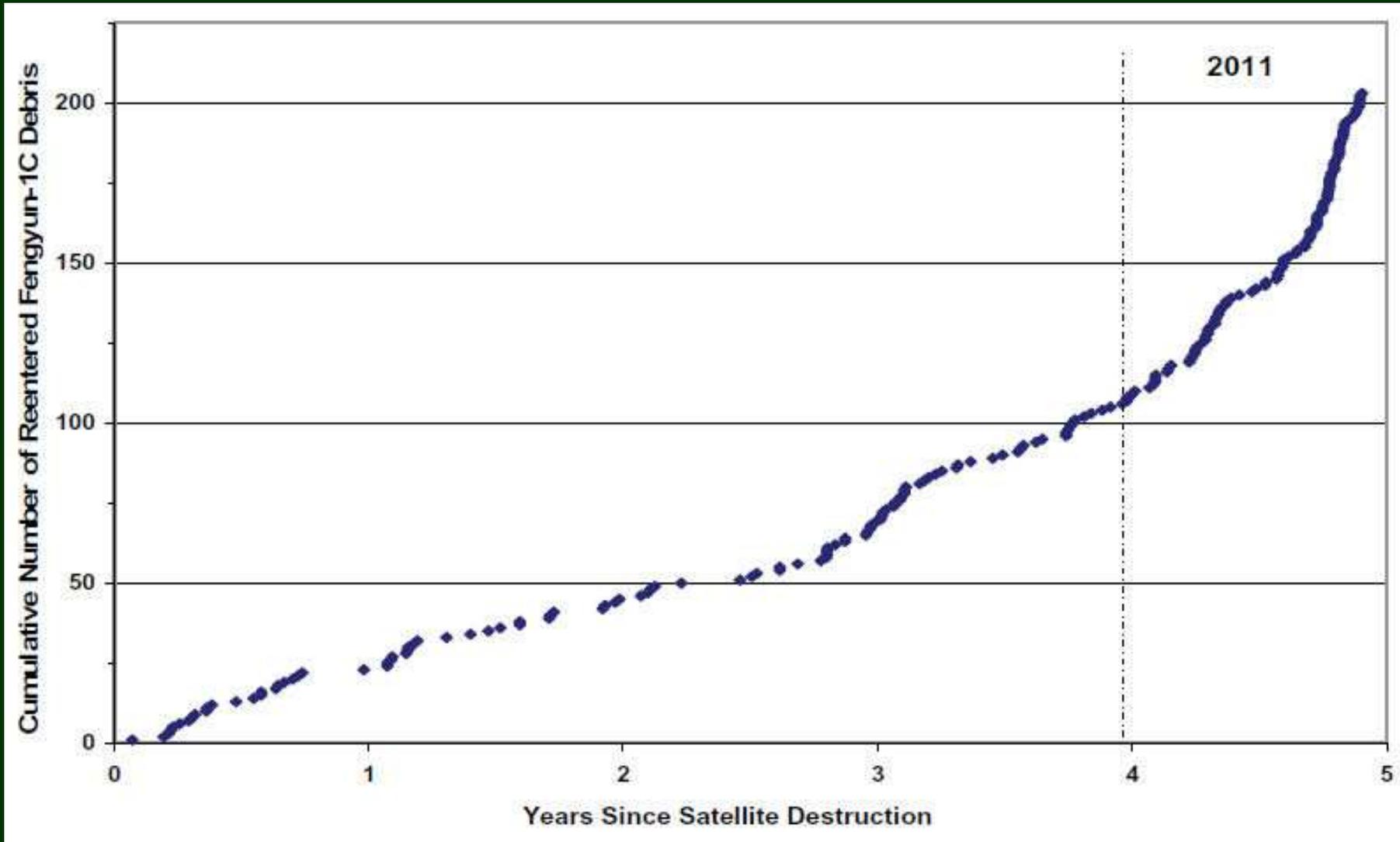
Pr (E>10 MeV) - to 27/1905 UT, tm -28/2005 UT - 796 p.f.u., te -;



# POLAR 2012, IZMIRAN





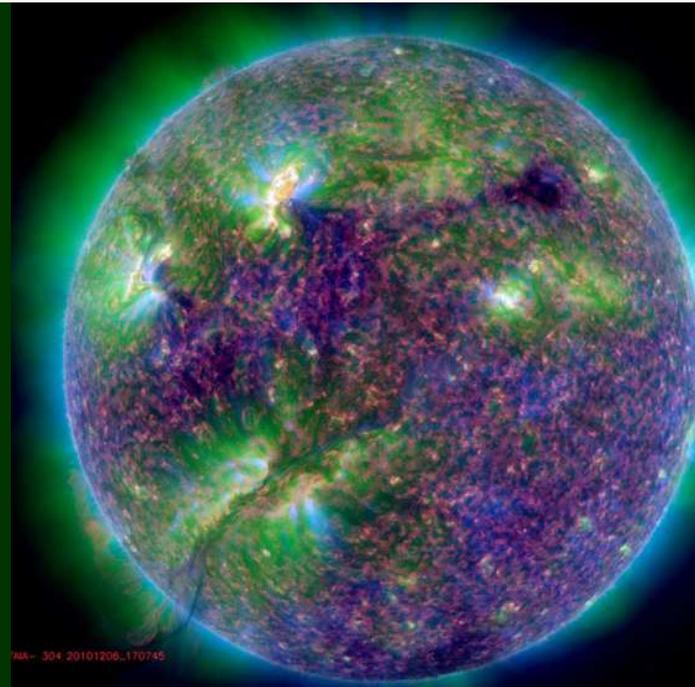


## POLAR 2012, IZMIRAN

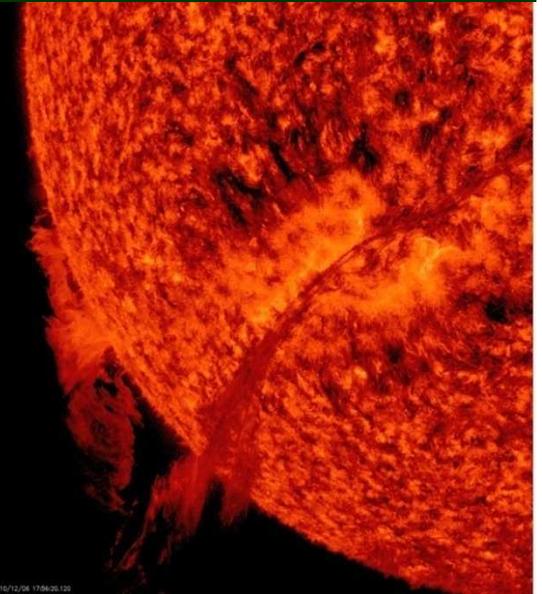
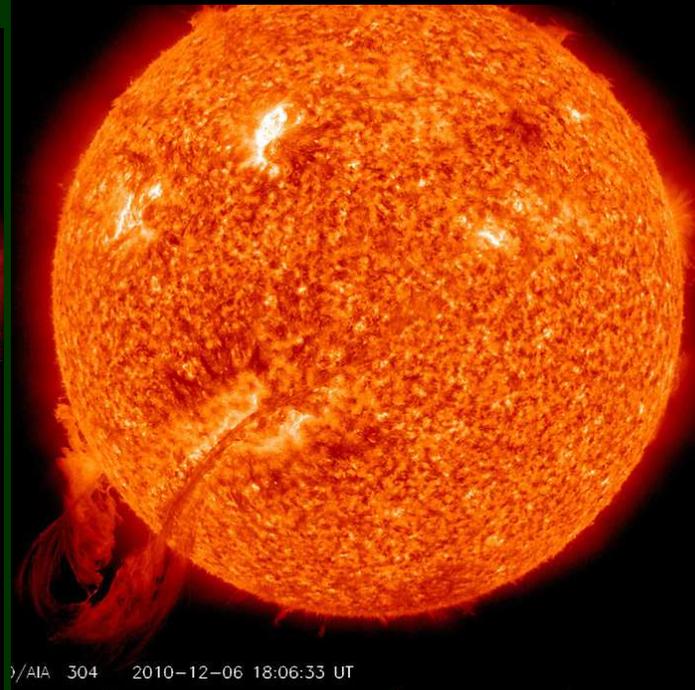
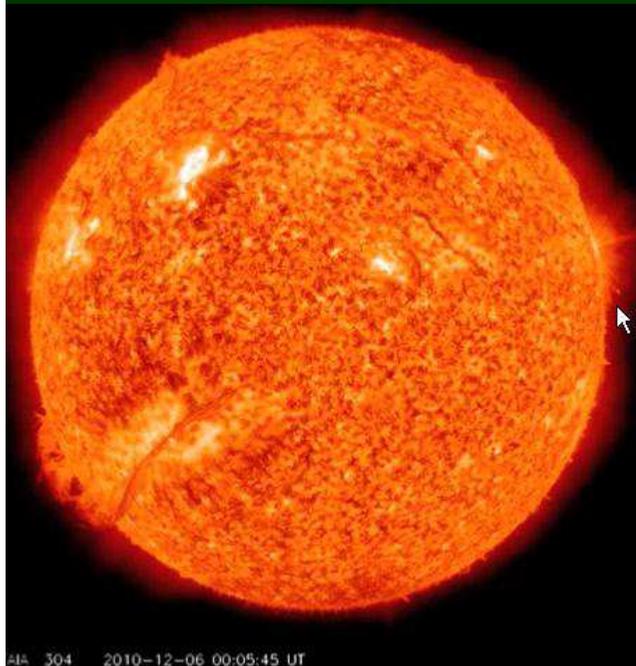
DATE			TIME		IMP	LOCAL-N			AR	RADIO	CME	
y	m	d	to	tm	te	Xray/opt	L	lt	lg	L	SWEEP	to/pa
$J^*m-2$												
11	11	28	00	44	01	03	>0110	M1.3/	.093	N18W90L070	11149	II <sub>1</sub> Pr/2
11	02	15	01	44	01	56	>0206	X2.2/	.16	S20W15L036	11158	II <sub>2</sub> CME/H Pr/2.6
11	03	09	23	13	23	23	0016	X1.5/2B	.067	N08W09L095	11166	
11	08	09	07	48	08	05	0904	X6.9/2B	.190	N17W69L301	11263	II <sub>1</sub> R3/0805/25-50 Pr/26
11	09	06	22	12	22	20	0029	X2.1/2B	.058	N14W18L224	11283	II <sub>2</sub> IV <sub>3</sub> CME R2220/100-300
11	09	07	22	32	22	38	>2348	X1.8/3B	.069	N14W28L224	11283	II <sub>1</sub> IV <sub>1</sub> CME R 2303/06-12
11	09	22	10	29	11	01	1227	X1.4/2N	.450	N13E78L279	11302	II <sub>2</sub> R3/1054/25-50 Pr/35
11	09	24	09	21	09	40	1010	X1.9/2B	.110	N12E60L279	11302	II <sub>2</sub> IV <sub>3</sub> R2/0940/100-300
11	11	03	20	16	20	27	2140	X1.9/2B	.100	N22E63L117	11339	CME/2312
12	01	23	02	56	03	59	0553	M8.7/2B	.2	N28W21L212	11402	IV <sub>2</sub> CME/H Pr/6310
12	01	27	17	37	18	37	1913	X1.7/1F	.15	N27W71L212	11402	II <sub>3</sub> IV <sub>2</sub> CME/H Pr/796
12	03	07	00	02	00	24	0349	X5.4/3B	.67	N17E27L301	11429	II <sub>2</sub> IV <sub>2</sub> CME/H Pr 6530
12	03	07	01	05	01	14	0130	X1.3/SF	.150	N22E12L315	11430	II <sub>2</sub>
12	03	13	16	35	17	41	2046	1B/M7.9	.240	N19W59L301	11429	II <sub>3</sub> IV <sub>3</sub> Pr/469
12	05	17	01	25	01	47	0308	M5.1/1F	.1	N11W76L188	11476	II <sub>3</sub> IV <sub>2</sub> CME/H Pr 255

A combined image  
in  
 $\lambda 304 + 131 + 171 \text{ \AA} \rightarrow$

$\lambda = 304 \text{ \AA}$



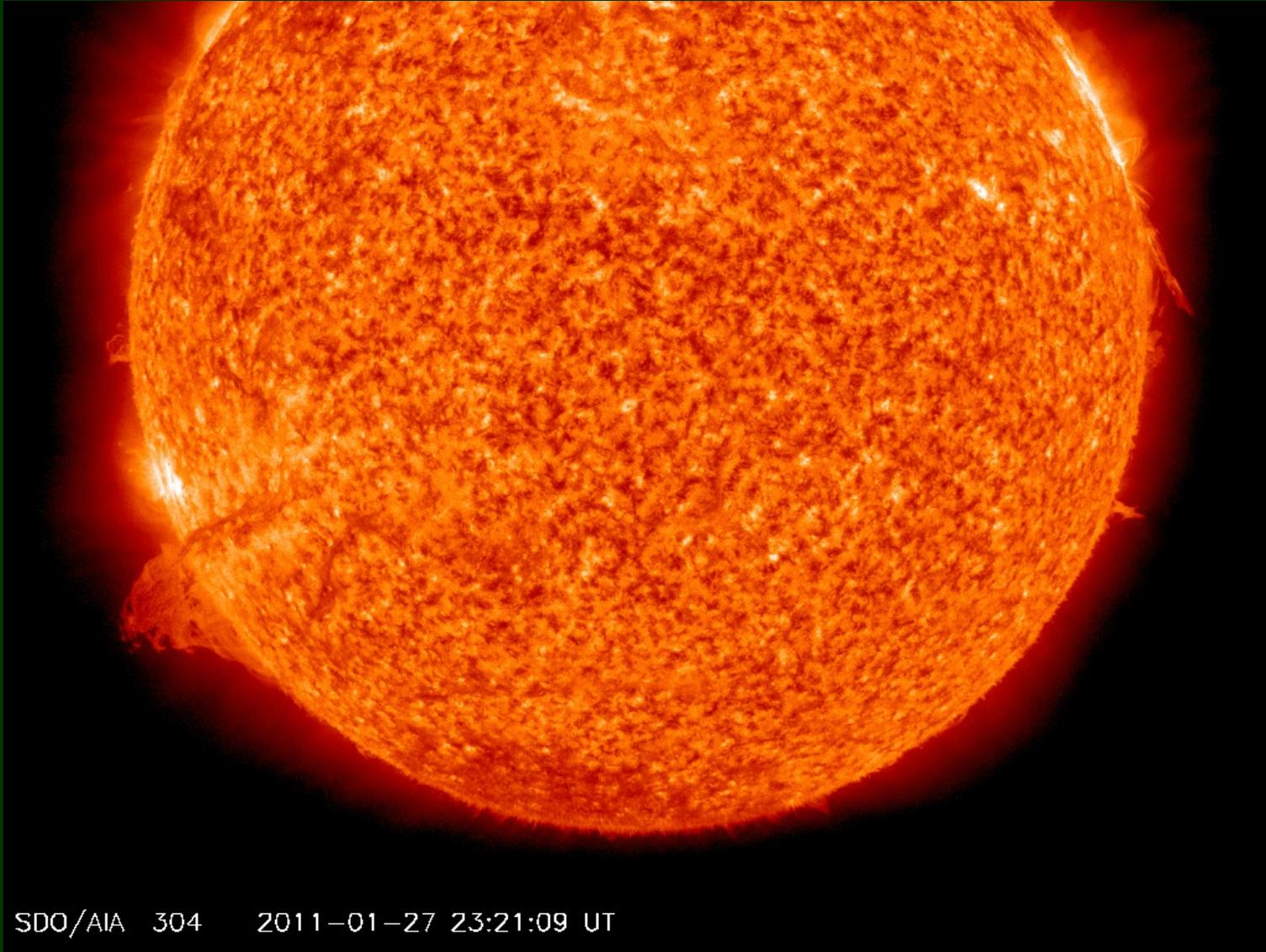
DSF evolution  
06.12.2010



Triple flare event 27 - 28.01.2011:

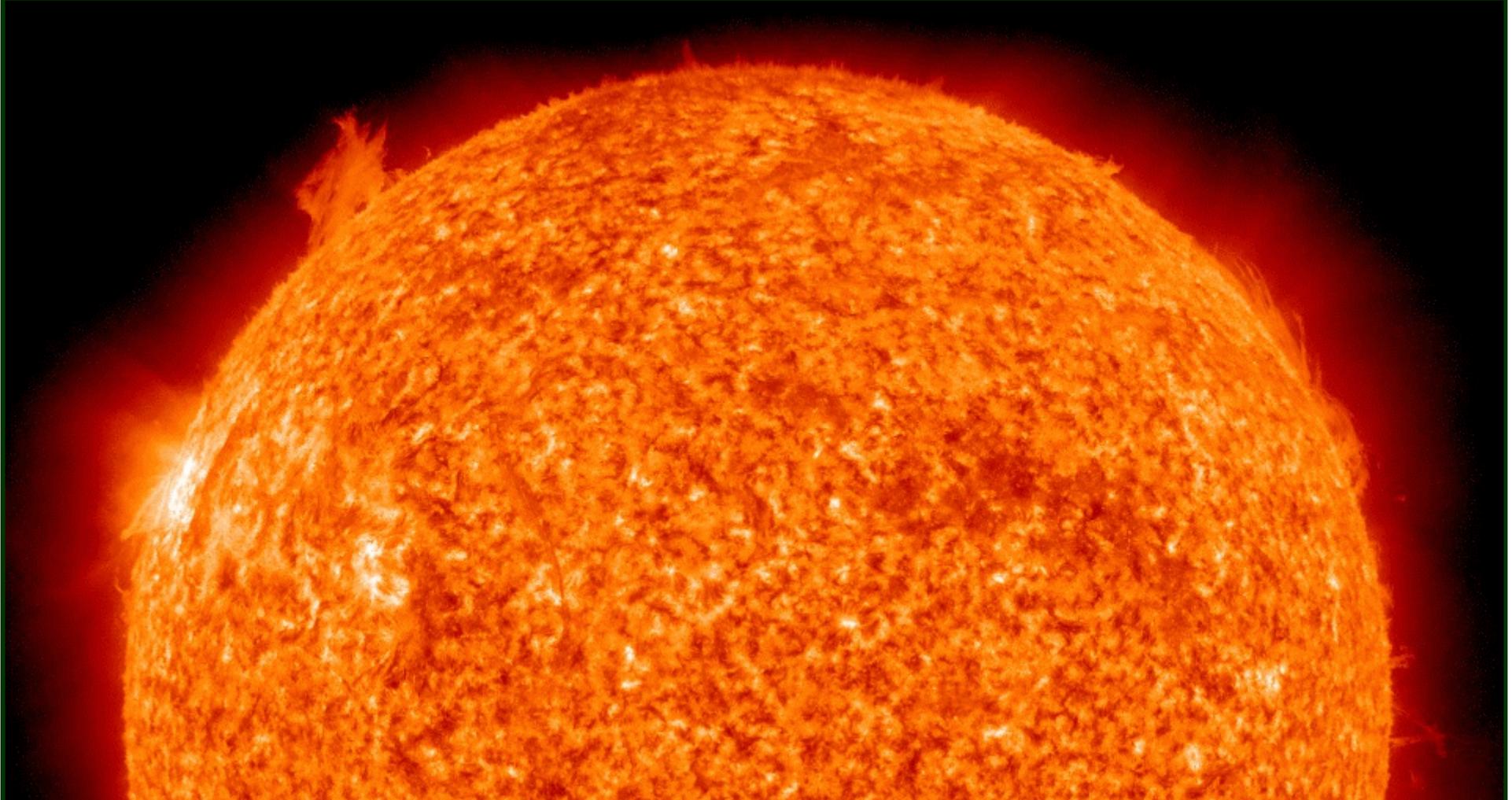
DSF/ $\sim 45^\circ$  S20E75 27/2350; FL/ M1.3/ N18W90 28/0044UT CME/0206 Pr  
1200 Mm  $\sim 600^s$

Global  
flare  
process



SDO/AIA 304 2011-01-27 23:21:09 UT

## Global flare process

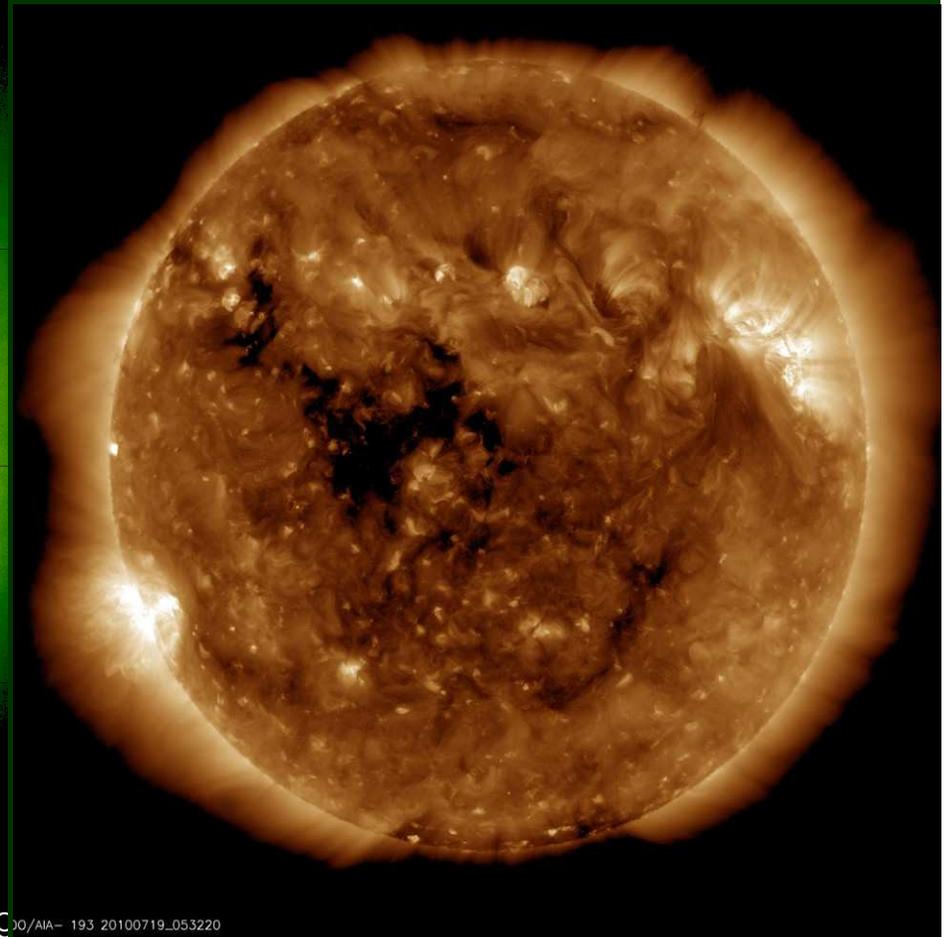
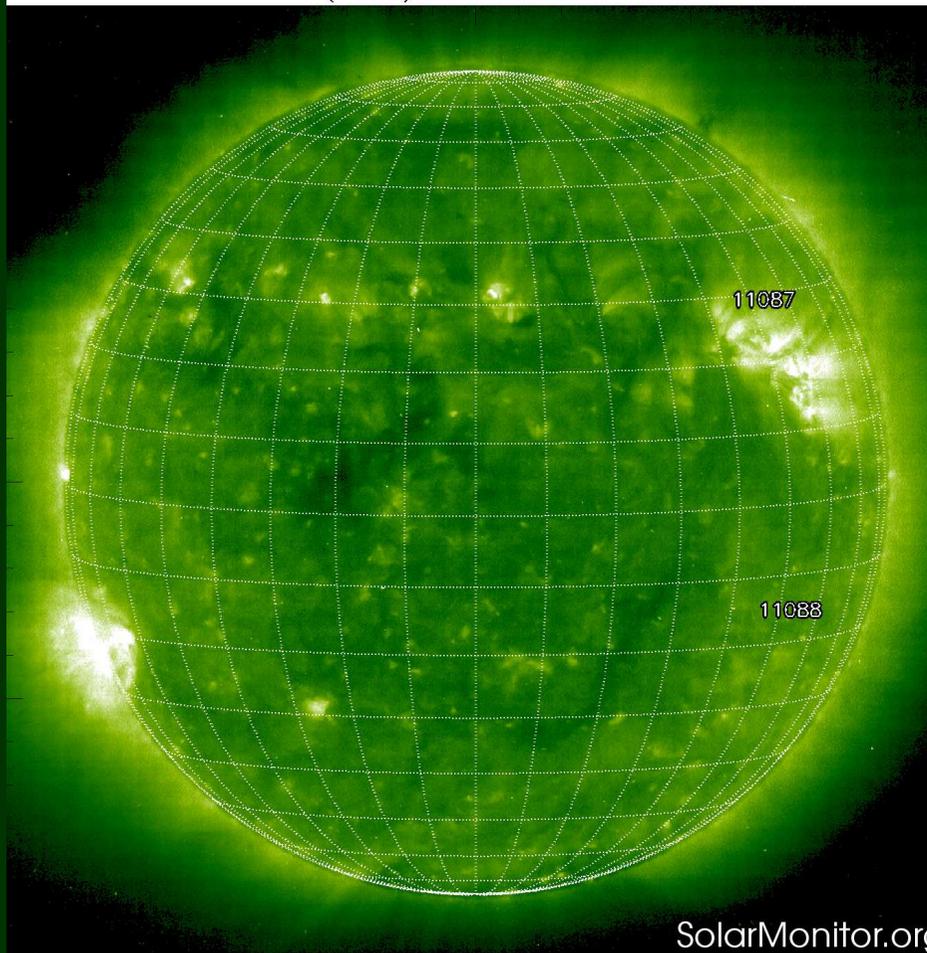


20100922 02 – 06 UT: DSF – 2; Flare – B3

## КОРОНАЛЬНЫЕ ДЫРЫ:

За 36 месяцев развития 24 солнечного цикла наблюдалось прохождение 75 КД. В N-полушарии локализовались 23 КД, в южном – 25 КД и трансэкваториальных – 19 КД. Времена жизни в солнечных оборотах: 1<sup>rot</sup> – 47 КД; 2<sup>rot</sup> – 10 КД; 3<sup>rot</sup> – 3 КД; 4<sup>rot</sup> – 9 КД; 5<sup>rot</sup> – 2 КД; 6<sup>rot</sup> – 2 КД; 9<sup>rot</sup> – 1 КД

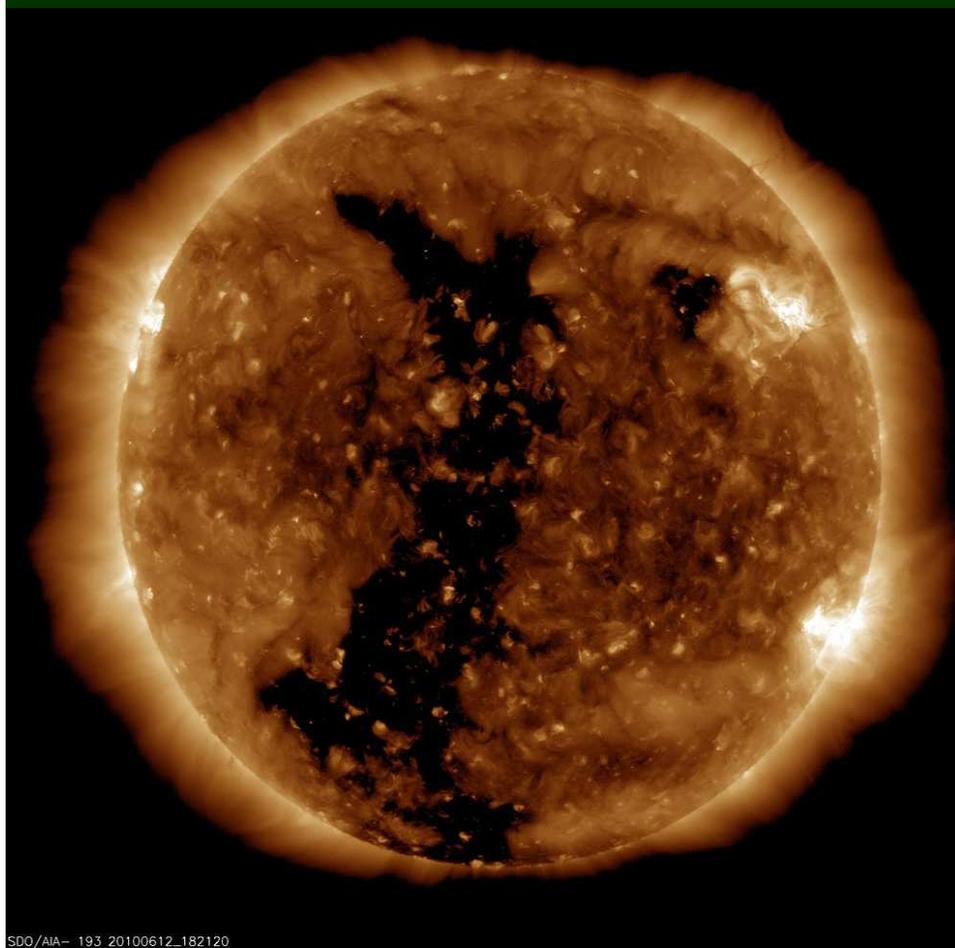
EIT Fe XII (195 Å) 19-Jul-2010 02:48:10.616



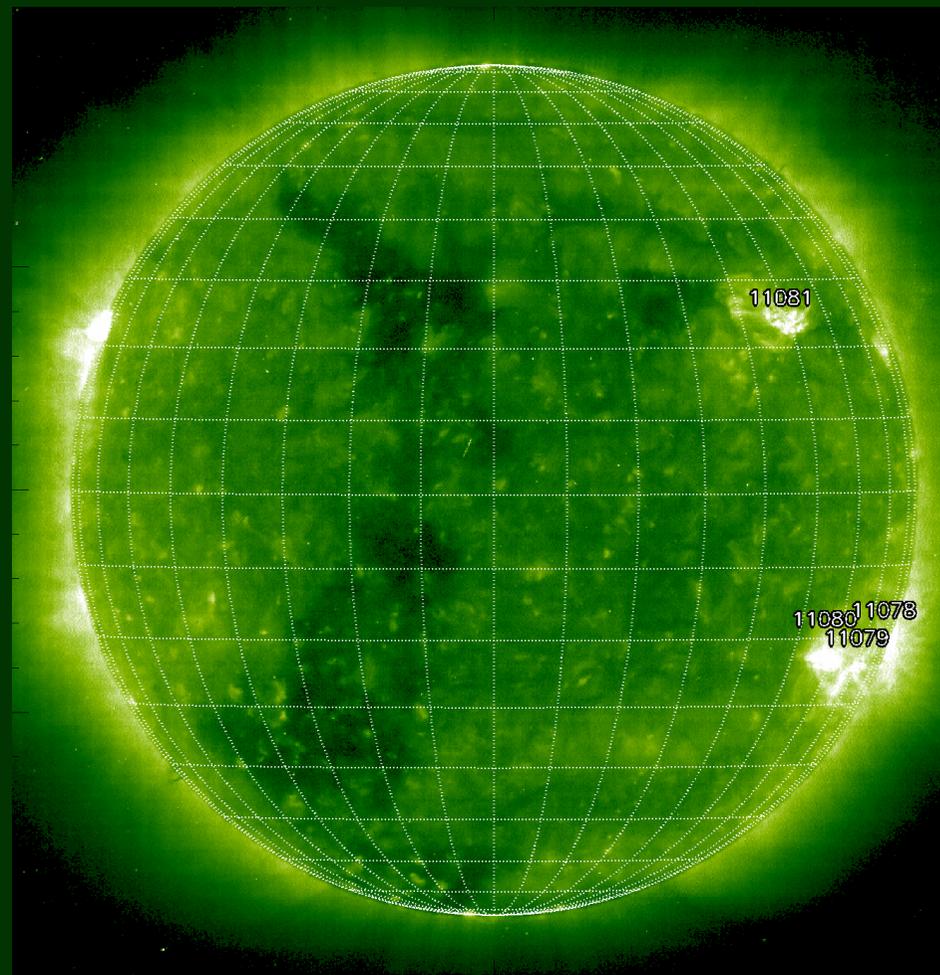
12.06.2010

AIA 193Å

SOHO 195 Å



SDO/AIA- 193 20100612\_182120



20

# БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ

