

## ТЕКУЩИЙ XXIV ЦИКЛ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: РАЗВИТИЕ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

В.Н. Ишков  
ИЗМИРАН, [ishkov@izmiran.ru](mailto:ishkov@izmiran.ru)

Вопросы развития текущего цикла солнечной активности (СА) всегда актуальны при планировании и подготовке научных экспериментов, экономических задач и, в особенности, проблем освоения околоземного космического пространства (ОКП). Возможность прогноза хода развития текущего и, возможно, последующих солнечных циклов, выявление периодов экстремальной вспышечной активности, как на Солнце, так и в ОКП, позволило бы избежать многих технологических аварий и катастроф. К сожалению, статистика научных исследований ряда чисел Вольфа ( $W$ ) очень коротка (с 1849 г.): на временной шкале в 163 года нам реально доступны лишь 14 циклов (СА) – **достоверный ряд** (таблица 1). Эта временная точка соответствует середине 9 цикла из ряда с восстановленными значениями  $W$  по отдельным наблюдениям до 1750 года (**пронумерованный ряд**). Недавние исследования (Ишков, Шibaев, 2006) показали, что спектральные характеристики пронумерованного и достоверного рядов  $W$  совершенно разные, что закрывает возможность использования пронумерованного ряда в научных целях. В ещё большей степени это относится к ряду более раннего периода вплоть до 1610 г. – года изобретения телескопа. Таким образом, на данной достоверной статистике мы не перебрали всех возможных характеристик и трендов развития отдельных циклов СА и не выявили взаимосвязи с более длительными циклами (кроме магнитного 22-летнего цикла). Это не даёт возможность найти механизмы образования солнечной цикличности и построить её модель.

**Таблица 1. Циклы солнечной активности 1 – 24**

Номер цикла	Год начала цикла	$W^*_{\min}$	Максимум цикла год	Минимум цикла, год	$W^*_{\max}$	Длительность цикла, годы	Ветвь роста, годы	Ветвь спада, годы
	1610.8		1615.5			8.2	4.7	3.5
	1619.0		1626.0			15.0	7.0	8.0
	1634.0		1639.5			11.0	5.5	5.5
	1645.0		1649.0			10.0	4.0	6.0
	1655.0		1660.0			11.0	5.0	6.0
	1666.0		1675.0			13.5	4.5	9.0
	1679.5		1685.0			10.0	5.5	4.5
	1689.5		1693.0			8.5	3.5	5.0
	1698.0		1705.5			14.0	7.5	6.5
	1712.0		1718.2			11.5	6.2	5.3
	1723.5		1727.5			10.5	4.0	6.5
	1734.0		1738.7			11.0	4.7	6.3
	1745.0		1738.7		92.6	10.2	5.3	4.9
1	1755 III	8.4	1761 VI	1766 V	86.5	11.25	6.25	5.0
2	1766 VI	11.2	1769 IX	1775 V	115.8	9.0	3.25	5.75
3	1755 VI	7.2	1778 V	1784 VIII	158.5	9.25	2.92	6.33
4	1784 IX	9.5	1788 II	1798 IV	141.2	13.67	3.42	10.25
5	1798 V	3.2	1805 II	1810 VII	49.2	12.25	6.75	5.5
6	1810 VIII	0.0	1816 IV	1823 IV	48.7	12.75	5.67	7.08
7	1823 V	0.1	1829 XI	1833 X	71.7	10.50	6.50	4.0
8	1833 IX	7.3	1837 III	1843 VI	146.9	9.67	3.33	6.33
9	1843 VII	10.5	1848 II	1855 XI	131.6	12.42	4.58	7.83
<b>10</b>	<b>1855 XII</b>	<b>3.2</b>	<b>1860 II</b>	<b>1867 II</b>	<b>97.9</b>	<b>11.42</b>	<b>4.17</b>	<b>7.25</b>
<b>11</b>	<b>1867 III</b>	<b>5.2</b>	<b>1870 VIII</b>	<b>1878 XI</b>	<b>140.5</b>	<b>11.92</b>	<b>3.42</b>	<b>8.50</b>
<b>12</b>	<b>1878 XII</b>	<b>2.2</b>	<b>1883 XII</b>	<b>1890 II</b>	<b>74.6</b>	<b>11.33</b>	<b>5.0</b>	<b>6.33</b>
<b>13</b>	<b>1890 III</b>	<b>5.0</b>	<b>1894 I</b>	<b>1901 XII</b>	<b>87.9</b>	<b>12.08</b>	<b>3.83</b>	<b>8.25</b>

14	1902 I	2.6	1906 II	1913 VII	64.2	11.67	4.08	7.59
15	1913 VIII	1.5	1917 VIII	1923 VII	105.4	10.08	4.0	6.08
16	1923 VIII	5.6	1928 IV	1933 VIII	78.1	10.25	4.67	5.58
17	1933 IX	3.4	1937 IV	1944 I	119.2	10.5	3.58	6.92
18	1944 II	7.7	1947 V	1954 III	151.8	10.25	3.25	7.00
19	1954 IV	3.4	1958 III	1964 IX	201.3	10.42	3.92	6.50
20	1964 X	9.6	1968 XI	1976 VI	110.6	11.83	4.08	7.75
21	1976 VI	12.2	1979 XII	1986 VIII	164.5	10.25	3.50	6.75
22	1986 IX	12.3	1989 VII	1996 V	158.11	9.58	2.92	6.66
23	1996 VI	8.0	2000 IV	2008 XII	120.7	12.7	3.83	8.87
24	2009 I	1.7	2013 II-VI	2021 V-IX	60	11,5	4,6	6,9

$W^*$  – сглаженное за 13 месяцев относительное число солнечных пятен. Жирным шрифтом выделены достоверные циклы SA, курсивом – прогнозируемые значения и гипотетические характеристики циклов до пронумерованного ряда (1610–1755 г).

В настоящий момент в рамках уже реализованной истории достоверных солнечных циклов становится понятно, что, начиная с 23 цикла SA, мы вступаем в эпоху циклов средней и низкой величины – период спада 150-летнего цикла. Предыдущий достоверный, низкий солнечный цикл имел номер 14 ( $W^*=64$ ), а самый высокий – солнечный цикл 19 ( $W^*=201$ ), суперцикл, который реализовался в окружении высоких циклов 18, 21 и 22, создав вершину высокой SA продолжительностью в ~50 лет. Исключение составил цикл средней величины – 20, который имел очень высокий уровень вспышечной активности. Характеристики цикла 22 (самый высокий из чётных циклов) дали весомые аргументы начинающейся перестройки режима генерации солнечных магнитных полей в конвективной зоне Солнца, которые изменили условия появления активных областей (АО). Как стало понятно впоследствии, признаками такой перестройки были:

- появление больших групп пятен на высоких широтах ( $\geq 35^\circ$ ) на фазе роста и в максимуме цикла;
- реализация наиболее мощных солнечных вспышек в фазе максимума, обычно такие вспышки наблюдаются на фазе спада цикла;
- полное отсутствие вспышек рентгеновского бала X на фазе спада цикла – впервые со времени наблюдений солнечных вспышек;
- единственный из статистики достоверных циклов случай нарушения правила Гневьшева – Оля, по которому нечётный цикл должен быть выше предыдущего чётного.

Солнечный цикл XXIII, начавшийся в мае 1996 г., завершился только в декабре 2008 г., его длительность составила 151 месяц (12.7 лет), что сделало его самым продолжительным циклом среди достоверных солнечных циклов (с 1849 г.). Он значимо превзошёл второй по длительности солнечный цикл XIII (12.1 лет), с которого начался 20-й век. Основные этапы развития XXIII солнечного цикла можно представить в виде следующей таблицы 2 (Ishkov, 2010):

**Таблица 2. XXIII – основные этапы развития**

<ul style="list-style-type: none"> <li>– начало: май 1996 (<math>W^*=8.0</math>);</li> <li>– начало фазы роста: сентябрь 1997 г.;</li> <li>– максимум <math>W^*=120.7</math>: апрель 2000 г.;</li> <li>– глобальная переполусовка общего магнитного поля Солнца: июль – декабрь 2000 г.;</li> <li>– вторичный максимум <math>W^*=115.6</math>: ноябрь 2001 г.;</li> <li>– максимум потока радиоизлучения на волне 10.7 см: февраль 2002 г.;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– фаза максимума цикла: октябрь 1999 – июнь 2002 г.;</li> <li>– начало фазы спада: июль 2002 г.;</li> <li>– ветвь спада: самая продолжительная среди достоверных циклов – 8.87 лет;</li> <li>– фаза минимума началась с мая 2005 г.;</li> <li>– точка минимума текущего цикла по <math>W^*</math>: декабрь 2008 г. (<math>W^*=1.7</math>),</li> </ul>
--	--

Перестройка генерации магнитных полей в конвективной зоне Солнца, наиболее вероятно начавшаяся на ветви спада 22 солнечного цикла, привела к значительному и очень длительному ослаблению магнитных полей в тенях солнечных пятен (Livingston, Penn, 2012), (Рис. 1) и общего магнитного поля Солнца, что и обеспечило необычные свойства фазы минимума между 23 – 24 солнечными циклами. В этой статье под фазой минимума понимается период времени, когда значения сглаженных относительных чисел солнечных пятен лежат в интервале  $W^*=30$  для прошедшего и текущего циклов СА. Фаза минимума, начавшаяся в мае 2005 г., продлилась до декабря 2010 г., захватив первые 24 месяца развития текущего 24 цикла солнечной активности. Беспрецедентная длительность спада относительных чисел солнечных пятен, в ходе которого как Солнце, так и гелиосфера достигли рекордно низких значений по основным параметрам. Период фазы минимума дал возможность оценить и проанализировать солнечные активные явления в условиях минимальной генерации солнечных магнитных полей.

Количество беспятенных дней на видимом диске Солнца в 2008 г. составило 266 дней (73% от общего количества суток в году), в первый год текущего цикла СА, 2009 г. – 260 (71%), в 2010 г. – 51 (44%), а всего за данный период развития солнечных циклов (2004 – 2011 г.) – 820 суток при среднем для всех достоверных циклов СА – 485 суток. Рекордсменом и здесь является фаза минимума 13 – 14 солнечных циклов: 1019 беспятенных дней. Абсолютный рекорд по количеству беспятенных дней за год принадлежит 1913 г. со значением 311 суток (85%). За 100 лет последовательно пятна отсутствовали в течение 92 дней в апреле, мае и июне 1913 года (Ишков, 2009).

Количество беспятенных дней на видимом диске Солнца в 2008 г. составило 266 дней (73% от общего количества суток в году), в первый год текущего цикла СА, 2009 г. – 260 (71%), в 2010 г. – 51 (44%), а всего за данный период развития солнечных циклов (2004 – 2011 г.) – 820 суток при среднем для всех достоверных циклов СА – 485 суток. Рекордсменом и здесь является фаза минимума 13 – 14 солнечных циклов: 1019 беспятенных дней. Абсолютный рекорд по количеству беспятенных дней за год принадлежит 1913 г. со значением 311 суток (85%). За 100 лет последовательно пятна отсутствовали в течение 92 дней в апреле, мае и июне 1913 года (Ишков, 2009).

Что касается значений потока радиоизлучения 10.7 см, то наибольший интервал самых низких значений за всю историю радионаблюдений Солнца (с 1947 г.) отмечен именно в данном минимуме, в июле 2008 г. – феврале 2009 г. они оставались на уровне ~68 sfu (солнечных единиц потока).

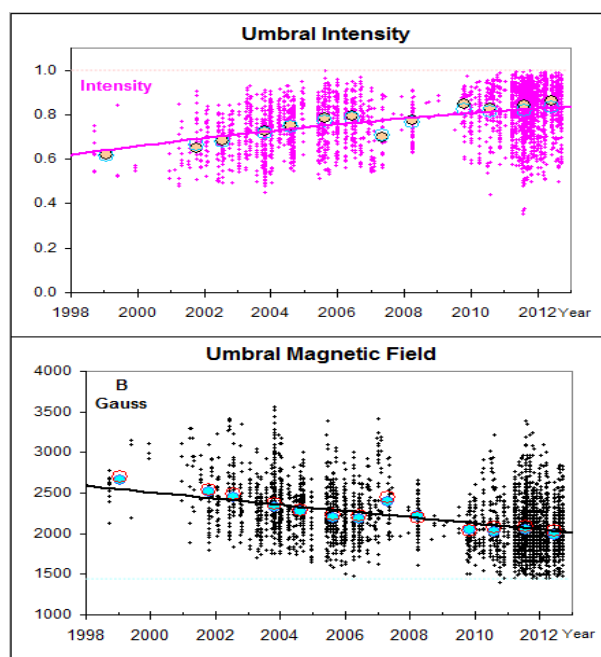


Рис. 1. Систематическое увеличение яркости (верхний рисунок) и уменьшение напряжённости магнитного поля (нижний рисунок) в тенях солнечных пятен по данным (Livingston, Penn, 2012) на ноябрь 2012 г.

По данным спутника VIRGO (Fröhlich, 2008) уровень солнечной постоянной в 2007 – 2009 годах держался на самом низком значении за всё время внеатмосферных измерений данной величины. Величина полного излучения Солнца на 1 а.е. более чем на  $0.2 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  ниже, чем в течение последнего солнечного минимума в 1996 г.

Из статьи Gibson et al, 2009 следует, что наблюдения Солнца и солнечного ветра над полюсами (Ulysses) и в эклиптике показали значительные различия между последним солнечным минимумом и прошлым (1996 г.). Площадь полярных корональных дыр существенно уменьшилась и магнитный поток на поверхности Солнца на полюсах на 40% слабее по сравнению с прошлым минимумом СА. Магнитные поля в солнечном ветре над полюсами уменьшились примерно втрое, также как и плотность (10 – 20%) и скорость (~3%) солнечного ветра. Подобные различия в средних характеристиках солнечного ветра отмечены и в околоземном космическом пространстве: средняя напряжённость магнитного поля в солнечном ветре стала ниже на 15%, а средняя плотность солнечного ветра (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.

Существование больших приэкваториальных корональных дыр затянулось по времени на весь период фазы минимума 23 солнечного цикла. Высокоскоростные потоки солнечного ветра от этих корональных дыр стали более интенсивными, длительными, но средняя плотность в частиц в них значимо упала, поэтому и степень их геоэффективности, воздействия на околоземное космическое пространство стало более слабым. В ответ на это количество геомагнитных возмущений, достигающих уровня малых магнитных бурь резко упало, а сглаженное значение Ар индекса достигло своего минимума только в сентябре 2009 г. Если в последний год 23 цикла от 62 солнечных корональных дыр отмечено 17 малых магнитных бурь (+2 от вспышечных явлений), то в первый год текущего цикла от 38 солнечных корональных дыр их было всего 2, в то время как высокоскоростные потоки практически от всех корональных дыр постоянно регистрировались космическим аппаратом ACE.

Уменьшение средней величины магнитного поля гелиосферы привело к тому, что поток галактических космических лучей в межпланетном пространстве значительно вырос (Ebert et al, 2009), и по измерениям ядер железа с энергиями 250 – 450 МеВ/нуклон это увеличение достигло 20% от прошлых максимальных значений.

Эти данные позволяют предположить, что получены фоновые значения параметров, описывающих состояние системы Солнце – Земля в отсутствии каких-либо вспышечных явлений.

Начавшийся в таких условиях текущий XXIV цикл солнечной активности (СА) после 47 месяцев своего развития находится к фазе максимума и уже немного превзошёл по высоте самый низкий 24 цикл СА. На данный момент цикл развивается как цикл низкой высоты ( $W^*_{\text{max}} \leq 80$ ) и среди достоверных солнечных циклов их было всего 3 – 12, 14 16 и все чётные (Рис. 2). Наиболее близко развитие текущего солнечного цикла соответствует самому низкому цикла СА (№14,  $W^*_{\text{max}} = 64.4$ ) из достоверного ряда солнечных циклов (с 1849 г.).

Под фазой максимума здесь понимается интервал времени развития цикла солнечной активности, когда сглаженные ежемесячные значения относительных чисел солнечных пятен остаются в пределах 15% от максимального значения  $W_{\text{max}}$  в рассматриваемом солнечном цикле. Надо иметь в виду, что во всех **достоверных** циклах низкой величины фаза максимума состояла из нескольких пиков, больший из которых и становится официальным максимумом данного цикла.

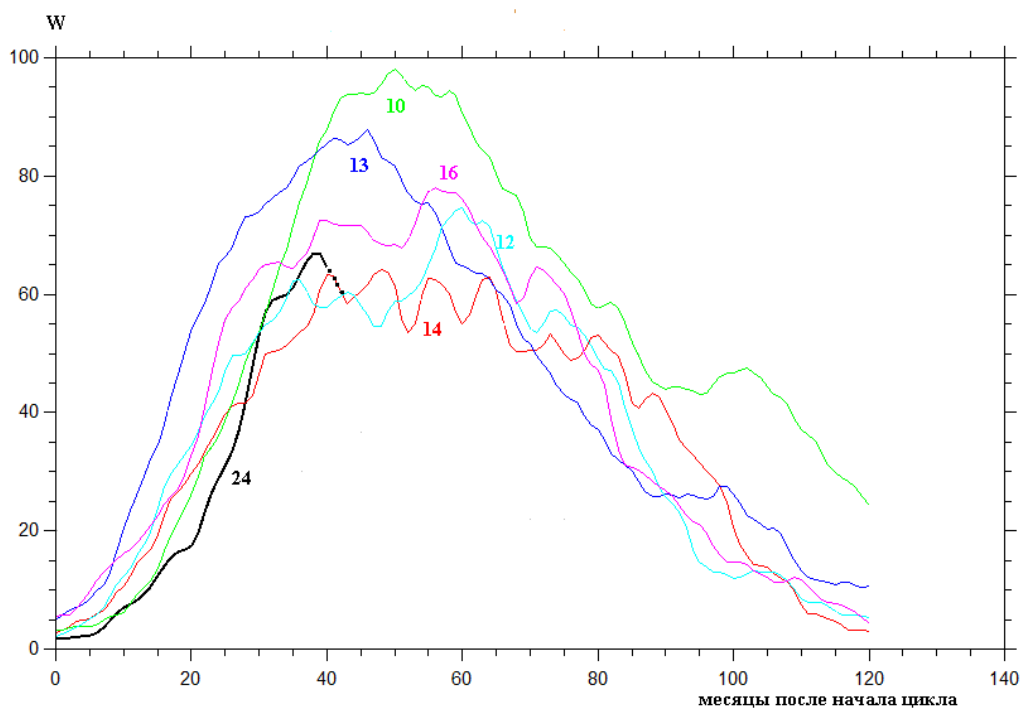


Рис. 2. Ход развития (42 месяца) 24-го цикла солнечной активности среди циклов низкой и средней величины по сглаженным за 13 месяцев относительным числам солнечных пятен ( $W^*$ ). По оси ординат – месяцы после начала цикла. Точки минимумов всех циклов сведены в начало координат.

Четыре года развития текущего цикла (СА) раскрыли его характеристики и особенности его эволюции на ветви роста. Текущий цикл – первый компонент физического 22-летнего солнечного цикла и по правилу Гневнышева – Оля следующий 25 солнечный цикл должен быть выше 24.

Рассмотрим основные характеристики текущего цикла СА после 47 месяцев его развития:

- формальное начало текущего 24 цикла СА январь 2009 года, и начальное значение сглаженного числа Вольфа  $W^*_{\text{мин}} = 1.7$ ;

- первая группа текущего цикла появилась в северном полушарии в январе 2008 г., а первая группа нового цикла в южном полушарии появилась только в мае 2008 г. Первые группы пятен нового цикла обычно появляются за 1 – 1.5 года до точки минимума (Harvey et al, 1997), исключение – XXIII солнечный цикл, в котором первая группа пятен появилась прямо в месяц его начала.;

- начало фазы роста – апрель 2011 г. ( $W = 54.4$ ,  $F_{10.7} = 112.6$ ), когда видимый диск Солнца одновременно проходили сразу 3 группы пятен среднего размера с площадями  $> 300$  м.д.п.;

- появление первой большой ( $S_p \geq 500$  м.д.п.) группы солнечных пятен – февраль 2011, а первой очень большой ( $S_p \geq 1500$  м.д.п., северное полушарие Солнца) – начало ноября 2011 года;

- с началом текущего солнечного цикла наблюдается явное преобладание пятнообразовательной активности северного полушария Солнца: за 3.8 года развития на видимом диске Солнца появилось 564 групп пятен, из которых 335 образовались в северном полушарии и 219 – в южном;

- первая большая вспышка ( $M \geq 5$ ) осуществилась в феврале 2010г в активной области северного полушария;

- первая мощная солнечная вспышка рентгеновского балла X6.9/2B осуществилась в группе пятен северного полушария 9 августа 2011 г.;

- первый промежуточный? пик в развитии – февраль 2012 г. Если он будет самым большим, то ветвь роста текущего цикла станет рекордно короткой для низких солнечных

циклов;

– ожидаемый максимум относительного числа солнечных пятен – X 2012 – III 2013 г. с величиной  $W^*_{\max} = 70 \pm 5$ ;

Одной из самых интересных особенностей 24 цикла является необычно большое количество комплексов активных областей (КАО), промежуточной структуры между АО и комплексами активности. На 1 VIII 2012 г. 74 КАО включало 175 АО. За данный период видимый диск Солнца проходили 75 (КД), которые осуществили 162 проходов по видимому диску. Для двух долгоживущих КД основное время существования было в прошедшем 23 цикле СА. Из оставшихся 73 КД один оборот наблюдались 47 КД, 2 оборота – 10, 3 – 3, 4 – 9, 5 оборотов – 2, 6 – 2 и 9 – 1.

Вспышечная активность на втором году развития текущего цикла СА ограничилась только осуществлением вспышек рентгеновского балла М. Первая группа пятен AR11041 (S25L052; XRI= 1.18;  $M_6^{3.4}$ , в которой за 29 часов 19 – 20 января 2010 г. произошло 6 вспышек среднего ( $M_1 - M_{4.9}$ ) рентгеновского балла. В данной статье для характеристики группы пятен используется ее порядковый номер в системе Службы Солнца NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) США, гелиокоординаты и вспышечный потенциал АО. Последний включает количество солнечных вспышек по рентгеновским баллам, причем верхний индекс показывает балл самой большой вспышки по интенсивности мягкого рентгена ( $1 - 8 \text{ \AA} = 12.5 - 1 \text{ кэВ}$ ), и вспышечный индекс группы пятен, введенный П. Мак-Интошем. Он рассчитывается по сумме вспышек баллов X и M, где вспышки балла X дают единицы ( $X_{5.3}$  дает 5.3), а вспышки балла M дают десятые доли ( $M_{8.3}$  дает 0.83).

Первые большие вспышки осуществились уже в феврале 2010 г. Сначала в AR11045 (N24L250; XRI= 1.52;  $M_8^{6.4} + C_{24}$ ); за 72 часа 6 – 9.02.2010г. осуществилось 7 вспышек средних баллов и одна большая рентгеновского балла  $M_{6.4}$ , а с 10 февраля начала быстро усложняться магнитная конфигурация группы пятен AR11046 (N24L186, XRI= 0.83;  $M_1^{8.3} + C_4$ ) и 12 февраля в ней осуществилась единственная значимая вспышка балла  $M_{8.3}$ . Последняя большая солнечная вспышка произошла только в ноябре 2010 г., когда в небольшой по площади группе пятен AR11121 (S19L121, XRI=0.74;  $M_3^{5.4}$ ) наблюдалась вспышка балла  $M_{5.4}$ .

Картина вспышечной активности кардинально изменилась с февраля 2011 г. Активная область южного полушария AR11158 (S19L036,  $S_p=620$  м.д.п.; XRI=3.59;  $X_1^{2.2} + M_6^{6.6}$ ) образовалась на видимом диске Солнца 11.02 и скорость всплывания магнитного потока была настолько велика, что уже 15 февраля площадь группы пятен стала большой ( $S_p \geq 500$  м.д.п.), а магнитная конфигурация стала предельно усложнённой. Результатом такого бурного развития стал период осуществления больших солнечных вспышек: 13 февраля активная область выдала первую большую вспышку балла  $M_{6.6}/1N$ , а 15.02 первую в текущем цикле вспышку балла  $X_{2.2}$ . Всего же за 69 часов 13 – 16.02 активная область реализовала 2 большие и 5 вспышек средних баллов.

18.02 в центральной области северного полушария видимого диска Солнца образовалась группа пятен с очень быстрым развитием AR11162 (N18L336; XRI= 0.89;  $M_3^{6.6}$ ), в которой в тот же самый день за 11 часов произошло 3 вспышки балла M, среди которых была и большая – балла  $M_{6.6}$ .

Следующий всплеск значимой вспышечной активности наступил уже в первой декаде марта, когда видимый диск Солнца проходили две большие и две группы пятен средней площади. Всплеск вспышечной активности связан с двумя группами пятен. Первая AR11165 (S22L181,  $S_p=420$  м.д.п.; XRI=1.53;  $M_6^{5.3} + C_{25}$ ), которая образовалась 26.02 в центральной зоне видимого диска и до 7 марта была небольшой спокойной группой пятен. Новый магнитный поток резко увеличил площадь пятен и привёл к тому, что 7 – 8 марта за 22 часа в активной области осуществились 6 значимых вспышек, среди которых была и большая балла  $M_{5.3}$ . Вторая активная область AR11166 (N10L095,  $S_p=750$ ; XRI=2.16;  $X_1^{1.5} + M_4 + C_{24}$ ) вышла из-за восточного лимба 1 марта уже вполне сформировавшейся большой группой пятен, но до 8 марта сравнительно спокойной. 9 марта за 13 часов в ней

произошло одна большая (X1.5/2B) и две вспышки среднего бала. Следствием этих вспышек в околоземном космическом пространстве зарегистрирована умеренная магнитная буря.

Следующий период больших солнечных вспышек наступил в первой декаде августа 2011 года и связан с активными областями северного полушария Солнца. AR11261 (N16L330, Sp=390 м.д.п.; XRI=2.71;  $M_5^{9.3}+C_{36}$ ) вышла из-за восточного лимба 25 июля группой средней площади и всплытие нового магнитного потока в конце суток 28 июля привело к резкому увеличению числа пятен и значительному усложнению магнитной конфигурации. Это привело к осуществлению большой солнечной вспышки балла M9.3 30.07. Новый всплывающий магнитный поток привёл к реализации ещё одного периода осуществления больших солнечных вспышек 3 – 4 августа, когда за 23 часа в этой активной области произошли ещё две большие вспышки баллов M6.0/2B и M9.3/2B, возмущения от которых вызвали в околоземном космическом пространстве солнечное протонное событие 4 – 6 августа (S1) и большую магнитную бурю 5 – 7 августа (G4). Вторая группа пятен AR11263 (N17L301, Sp=720 м.д.п.; XRI=7.67;  $X_1^{6.9}+M_3+C_{33}$ ) к 7.08 выросла в категорию большой и 8 – 9 августа за 13 часов выдала одну, самую мощную вспышку текущего солнечного цикла балла X6.9/2B и две вспышки среднего балла. От большой вспышки в околоземное космическое пространство пришли солнечные протоны с  $E>10$  МэВ, осуществив 9 августа солнечное протонное событие интенсивностью S1.

В сентябре 2011 года период осуществления больших солнечных вспышек связан с активной областью AR11283 (N12L227, Sp=230 м.д.п.; XRI= 5.60;  $X_2^{2.1}+M_5$ ), которая вышла из-за восточного лимба в конце суток 29 августа группой пятен среднего размера и новый всплывающий магнитный поток появившийся 4 сентября снова отразился лишь в резком увеличении числа пятен и быстрым усложнением магнитной конфигурации. За 61 час 6 – 8 сентября активная область произвела четыре большие вспышки, в том числе 2 вспышки балла X – X2.1/2B (6.11) и X1.8/3B (7.11). Возмущения от этих солнечных вспышек вызвали в околоземном космическом пространстве умеренную магнитную бурю 9 – 10 сентября, начавшуюся с прихода двойной межпланетной ударной волны, отразившихся в двух последовательных внезапных импульсах геомагнитного поля 9 сентября – SI/1243UT и SI/1250 UT. Надо отметить, что вспышечный период начался 5 сентября, когда во вновь образованной на W57 небольшой группе пятен AR11286 (N20L304, Sp=080 м.д.п.; XRI= 0.60;  $M_3^{3.2}$ ) практически на самом западном лимбе Солнца произошли три вспышки среднего балла M.

21 сентября из-за восточного лимба Солнца вышла первая в текущем цикле очень большая группа пятен AR11302 (N13L280, Sp=1300 м.д.п.; XRI=8.73;  $X_2^{1.9}+M_{17}+C_{72}$ ), вспышечный потенциал которой оказался рекордным за время развития текущего цикла солнечной активности. Уже 22 сентября, прямо у восточного лимба начался период реализации вспышек большого и среднего балла: за 66 часов 22 – 25 сентября осуществились пять больших вспышек X1.4/2N (22.9), X1.9/2B, M7.1/1B и M5.4 (24.9), M7.4/2N (25.09). Несмотря на неудобное положение этих вспышек для влияния на окрестности Земли, условия распространения возмущений позволили им вызвать умеренную (26 – 27.09) и малую (28 – 29.09) магнитные бури в околоземном космическом пространстве.

Та же картина повторилась и в начале ноября 2011 г.: 30 октября в полном развитии на видимый диск Солнца вышла активная область AR11339 (N19L103, Sp=1540 м.д.п.; XRI=4.18;  $X_1^{1.9}+M_9+C_{38}$ ), в которой уже со 2 ноября начался период осуществления вспышек и за 59 часов 2 – 5 ноября в ней произошли 1 большая (X1.9/2B 3.11) и 5 вспышек среднего балла.

13 января 2012 г. на видимый диск вышел долготный комплекс АО, образованный двумя группами пятен AR11401 (N15L212, Sp=540 м.д.п.; XRI=0.37;  $M_3^{1.7}+C_{19}$ ) и AR11402 (N28L211, Sp=630 м.д.п.; XRI=2.89;  $X_1^{1.7}+M_2^{8.7}+C_9$ ). После очень длинной по времени (>6 часов) вспышки M3.2/2N 19.01 в ОКП наблюдалась умеренная магнитная буря. Вспышка балла M8.7/2B 23.01

стала источником второго по интенсивности (6310 p.f.u. – S3) протонного события в этом цикле. А после большой вспышки балла X1.7/1F 27.01 в ОКП было зарегистрировано солнечное протонное событие интенсивностью 701 p.f.u. (S2). Следующий период высокой вспышечной активности связан со следующим комплексом АО, образованный AR11429 (N18L301, Sp=1270 м.д.п.; XRI=11.92; X<sub>2</sub><sup>5.4</sup>+M<sub>14</sub><sup>8.4</sup>+C<sub>32</sub>) и AR114302 (N19L319, Sp=200 м.д.п.; XRI=1.3; X<sub>1</sub><sup>1.3</sup>+C<sub>3</sub>). 5.03 за 46<sup>h</sup> большая группа пятен произвела две большие вспышки балла X и 10 вспышек балла M. Последней в этой вспышечной серии была двойная вспышка X5.4+X1.3, которая захватила оба компонента КАО и стала источником самого большого по интенсивности (6530 p.f.u. – S3) протонного события текущего цикла СА. Кроме того, возмущение от этого вспышечного события 8–9.03 вызвал в ОКП длительную большую магнитную бурю (Dst –139 nT). 9–10 марта в большом компоненте Комплекса за 38<sup>h</sup> осуществились две большие вспышки баллов M6.3 и M8.4. И 13 марта на W59 осуществилась протонная вспышка балла M7.9 с потоком протонов в максимуме интенсивности 469 p.f.u. (S2).

Итак, в текущем 24 солнечном цикле за 3.5 года развития на Солнце произошло 44 больших солнечных вспышек (таблица 3), среди которых две вспышки с баллом X>5 и 14 вспышек с баллом X≥1.0.

**Таблица 3. Большие солнечные вспышки текущего 24 цикла солнечной активности за 36 месяцев развития по интенсивности потока излучения в диапазоне (1 – 12.5 кэВ) с рентгеновским баллом M≥5.0**

Место	Г/М/Д	Балл	Координаты	АО
1	2011/08/09	X6.9/2B	N17W69L301	11263
2	2012/03/07	X5.4/3B	N17E27L301	11439
3	2011/02/15	X2.2/	S20W15L034	11158
4	2011/09/06	X2.1/2B	N14W18L224	11283
5	2011/09/24	X1.9/2B	N12E60L279	11302
6	2011/11/03	X1.9/2B	N22E63L117	11339
7	2011/09/07	X1.8/3B	N14W28L224	11283
8	2012/10/23	X1.8/	S13E58L114	11598
9	2011/03/09	X1.5/2B	N08W09L093	11166
10	2011/09/22	X1.4/2N	N13E78L279	11302
11	2012/07/12	X1.4/2B	S15W01L088	11520
12	2012/03/07	X1.3/SF	N22E12L315	11430
13	2012/03/05	X1.1/2B	N17E52L301	11429
14	2012/07/06	X1.1/	s17w55L205	11515
15	2011/07/30	M9.3/SF	N21W68L330	11161
16	2011/08/04	M9.3/2B	N19W36L358	11261
17	2012/10/20	M9.0/	S12E88L114	11598
18	2012/01/23	M8.7/2B	N28W21L211	11402
19	2012/03/10	M8.4/	N17W24L301	11429
20	2010/02/12	M8.3/1N	N26E11L185	11046
21	2012/07/19	M7.7/SF	S16W90L088	11520
22	2011/09/25	M7.4/2N	N11E47L279	11302
23	2011/09/24	M7.1/1B	N12E58L279	11302
24	2012/07/08	M6.9/1N	S17W74L205	11515
25	2011/09/08	M6.7/1N	N14W40L224	11283
26	2011/02/13	M6.6/1N	S20E04L036	11158
27	2011/02/18	M6.6/	S20W53L034	11158
28	2010/02/07	M6.4/1N	N20E09L253	11045



29	2012/03/09	M6.3/SF	N15W03L301	11429
30	2012/07/05	M6.1/1B	S20W32L205	11515
31	2012/07/28	M6.1/2N	S25E54L185	11532
32	2011/08/03	M6.0/2B	N16W30L358	11261
33	2012/11/13	M6.0/	S25E46L207	11613
34	2011/09/24	M5.8/	N13E52L279	11302
35	2012/05/10	M5.7/2B	N13E22L188	11476
36	2012/07/02	M5.6/1B	S17E08L205	11515
37	2012/08/18	M5.5/SF	N19E86L232	11548
38	2010/11/06	M5.4/1N	S19E58L211	11121
39	2011/03/08	M5.3/1F	S17W86L182	11165
40	2011/09/06	M5.3/1B	N14W07L224	11283
41	2012/07/04	2B/M5.3	S20W18L205	11515
43	2012/05/17	M5.1/1F	N11W76L188	11476
44	2012/10/22	M5.0/1F	S12E61L114	11598

Начальный период развития текущего цикла, как и предыдущих двух, показал, что его высоту возможно спрогнозировать уже после 18 – 24 месяцев после его начала, когда кривая развития цикла определенно попадает в одно из семейств: высоких, средних или низких солнечных циклов. Среднесрочный прогноз солнечных активных явлений начавшегося цикла возможен только на основе общих свойств и статистических характеристик семейств солнечных циклов и носит описательный характер.

Из сказанного выше следует, что текущий цикл развивается по сценарию типичному для нормальных циклов СА. По этому сценарию наиболее мощные вспышечные события обычно происходят на фазе спада цикла и иногда на фазе роста. Некоторые особенности развития последних трёх солнечных циклов солнечной активности и картина развития типичных для данного цикла активных областей подтверждают произошедшую смену режима генерации магнитных полей в конвективной зоне Солнца. Это привело к тому, что Солнце вступило в период малых и средних солнечных циклов СА, который может продлиться примерно 5 – 6 солнечных циклов (50 – 70 лет). Следствием уменьшения количества АО будет рост количества корональных дыр, а значит и рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра, которые вызовут в ОКП относительный рост числа рекуррентных малых геомагнитных возмущений. А значительное снижение числа вспышечных событий приведет к уменьшению количества обычно более сильных спорадических геомагнитных возмущений и росту периодов спокойных геомагнитных условий. Ослабление режима выноса солнечных магнитных полей привело к уменьшению зоны модуляции галактических космических лучей в межпланетном пространстве и значительному росту их интенсивности в ОКП и, соответственно, к росту радиационного фона на всем протяжении солнечного цикла, а не только в эпоху минимума. Спорадический нагрев земной атмосферы значимо уменьшится, что приведет к еще большему загрязнению ОКП (неблагоприятный режим очистки низких орбит от космического мусора), другим, возможно, неблагоприятным последствиям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ишков В.Н., Шибяев И.Г., Циклы солнечной активности: общие характеристики и современные границы прогнозирования, // Изв. РАН, сер. физ., 2006, т. 70, № 10, с.1439-1442.

Ishkov V.N., Properties and Surprises of Solar Activity XXIII Cycle // Sun and Geosphere, 2010; 5(2): 43-46 ISSN 1819-0839.

Livingston, W., Penn, M., <http://solarcycle24com.proboards.com/index/page=41>

Ишков В.Н., Характеристики солнечной активности затяжной фазы минимума 23 – 24

солнечных циклов, // Сб. статей «Циклы активности на Солнце и звёздах», Астрономическое общество, Изд. ВВМ, 2009, с. 57 – 62.

Fröhlich, C., // American Geophysical Union, Fall Meeting 2008, abstract #SH21C-05

Gibson, S. E., J. U. Kozyra, G. de Toma, et al // J. Geophys. Res., 114, A09105, 2009  
doi:10.1029/2009JA014342.

Ebert, R. W.; McComas, D. J.; Elliott, H. A.; Forsyth, R. J.; Gosling, J. T. // Journal of Geophysical Research, Volume 114, Issue A1, 2009, CiteID A01109.

Harvey K.L., Recely F., Hirman J., Cohen N. // Solar-Terrestrial Prediction. V.5. P. 77 – 84.