

XXIII ЦИКЛ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: РАЗВИТИЕ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

В.Н. Ишков
ИЗМИРАН, ishkov@izmiran.ru

Текущий XXIII цикл солнечной активности (СА) после 111 месяцев своего развития стремительно приближается к фазе минимума. Основные характеристики текущего цикла практически полностью соответствуют характеристикам солнечных циклов средней величины, а некоторые его особенности могут свидетельствовать о смене режима генерации магнитных полей в конвективной зоне Солнца. В этом случае Солнце вступает в период средних и малых циклов СА по числу Вольфа, который может продлиться от 50 до 100 лет. Это может привести к еще большему загрязнению околоземного космического пространства из-за неблагоприятного режима очистки низких орбит от космического мусора, значительному росту радиационного фона в ближнем космосе (ослабление межпланетных магнитных полей даст увеличение концентрации галактических космических лучей в гелиосфере) и другим, возможно, неблагоприятным последствиям. Основные этапы развития текущего 23 цикла солнечной активности следующие:

- минимум 22 солнечного цикла – май 1996 ($W^* = 8.0$);
- начало фазы роста - сентябрь 1997 г.;
- максимум относительного числа солнечных пятен - апрель 2000 г.;
- глобальная переполосовка общего магнитного поля Солнца - июль - декабрь 2000 г.;
- вторичный максимум относительного числа солнечных пятен - ноябрь 2001 г.;
- максимум потока радиоизлучения на волне 10.7 см - февраль 2002 г.;
- фаза максимума цикла – октябрь 1999 – июнь 2002 г.;
- начало фазы спада - -июль 2002 г.;
- фаза минимума началась с мая 2005 г.;
- вероятная точка минимума текущего цикла СА – ноябрь – декабрь 2006 г.

Почти десять лет развития текущего цикла (СА) раскрыли его характеристики и большинство особенностей его эволюции. Текущий цикл – второй компонент физического 22-летнего солнечного цикла. Самой большой неожиданностью стало то, что, вопреки правилу Гневывшева-Оля, ведомый нечетный цикл впервые за всю реальную (с 1849 г.) историю исследования цикличности Солнца стал меньше ведущего четного (Ishkov, 2003). Он вошел в семейство солнечных циклов средней величины и, как видно из рисунка 1, развитие текущего цикла полностью укладывается в схему хода эволюции ему подобных по темпу развития и высоте более ранних солнечных циклов, для которых ($80 < W^* \leq 130$). Среди достоверных солнечных циклов кроме текущего 23 таких набирается 5. Это солнечные циклы с номерами 10 ($W^*_{\text{макс}}=97.9$), 13 ($W^*_{\text{макс}}=87.9$), 15 ($W^*_{\text{макс}}=105.4$), 17 ($W^*_{\text{макс}}=119.2$), 20 ($W^*_{\text{макс}}=110.6$) Нужно отметить, что среди циклов средней величины только два являются четными, а четыре нечетными.

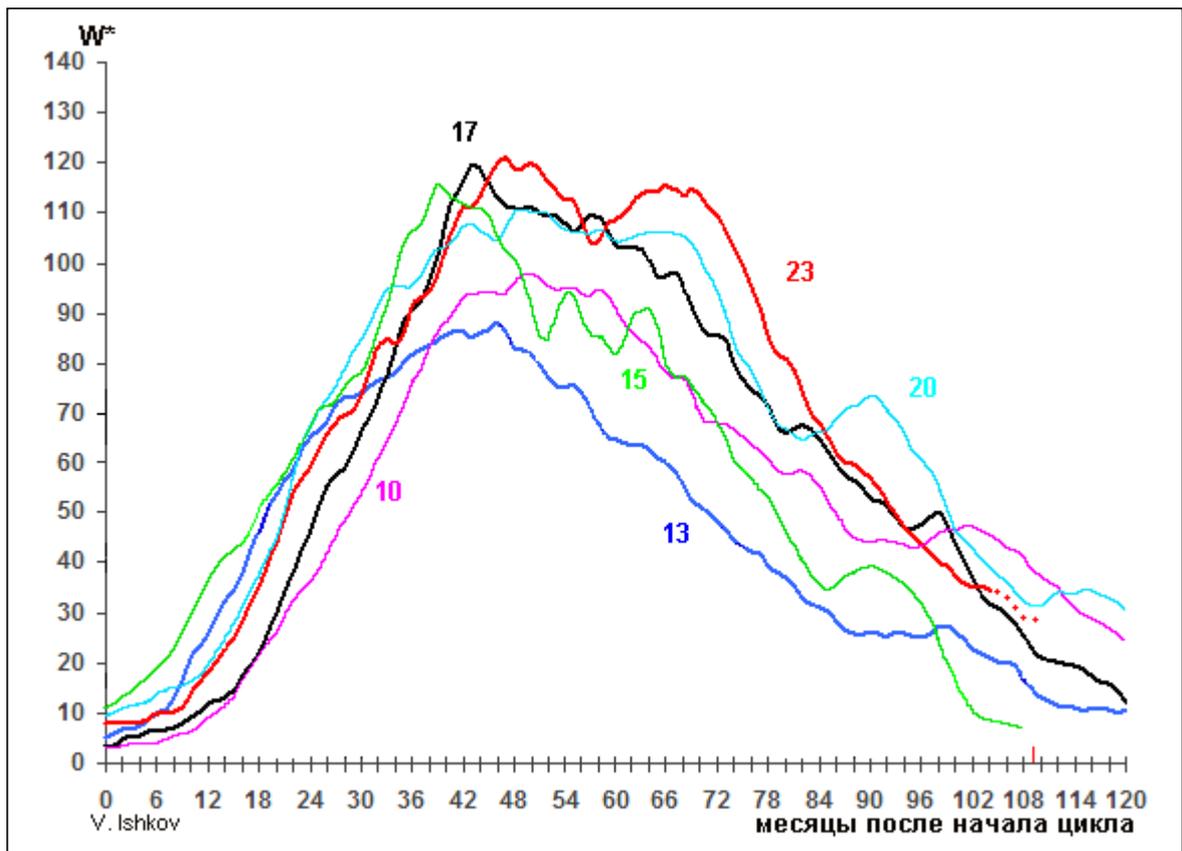


Рис. 1. Ход развития текущего 23 цикла СА совместно с другими циклами средней величины в сглаженных среднемесячных относительных числах пятен. По оси ординат – месяцы после начала цикла. Точки минимумов всех циклов сведены в начало координат.

Рассмотрим основные характеристики текущего цикла СА после 111 месяцев его развития:

- формальное начало текущего 23 цикла СА май 1996 года, и начальное значение сглаженного числа Вольфа $W^*_{\text{мин}} = 8.0$;
- первая группа текущего цикла появилась непосредственно в точке минимума (май 1996 г.), тогда как во всех изученных циклах первые группы пятен нового цикла появлялись не менее чем за 1 – 1.5 года до точки минимума (Harvey K., 1997);
- начало фазы роста – сентябрь 1997 г. ($W = 51.3$, $F_{10.7} = 96.2$), когда на видимом диске Солнца появились первые две большие группы солнечных пятен с площадями > 500 м.д.п.;
- максимум цикла в относительных числах солнечных пятен наступил в апреле 2000 г. ($W^*_{\text{max}} = 120.7$), а максимум значений потока радиоизлучения на волне 10.7 см отмечен в феврале 2002 г. ($F^*_{\text{max}} = 197.2$), т.е., как и в 22 цикле СА максимумы этих двух основных индексов оказались разнесенными по времени;
- время осуществления переполюсовки (окончательная смена знака солнечных структур на широтах N,S70) общего магнитного поля Солнца – июль – декабрь 2000 г.;
- второй максимум цикла в относительных числах солнечных пятен отмечен в ноябре 2001 г. ($W^* = 115.6$), причем 8 месяцев значения W^* превышали 113;
- до фазы спада наблюдалось значительное отставание по общему количеству активных областей (АО) текущего цикла, однако последние 3 года выровняли эту ситуацию: к 2005 г. текущий цикл догнал цикл 20 и немного обогнал цикл 22;

– сами группы пятен меньше по размерам, менее сложные, с более медленным темпом развития и большим временем жизни. Это характерные признаки стабильных (не вспышечных) АО, которые могут указывать на более слабую циркуляцию в солнечной конвективной зоне в текущем цикле по сравнению с несколькими предыдущими (18-22). Количество высокоширотных ($\varphi \geq 30^\circ$) групп пятен близко к «нормальному», наблюдаемому в достоверных циклах и значительно уступает циклам 22 и 19;

– несмотря на выравнивание общего количества АО, сохраняется значительное отставание текущего цикла от циклов 19 – 22 по количеству оптических вспышек и больших рентгеновских всплесков;

– затянувшаяся высокая вспышечная активность на фазе спада цикла: последняя вспышечно-активная область с большим вспышечным потенциалом появилась во второй декаде января 2005 г. почти через 5 лет после точки максимума;

– значимое превышение общего числа протонных событий, по сравнению с тремя предыдущими циклами, однако число возрастаний счета нейтронных мониторов, сопутствующих вспышечным событиям с протонами $E > 1$ ГэВ, остается на уровне 20 цикла (средней величины);

– резкое снижение флюэнсов (суммарных суточных потоков) энергичных электронов ($E > 2$ МэВ): до начала фазы спада (июль 2002 г.) текущего цикла флюэнс очень редко достигал значений 10^8 ч·с⁻¹·м⁻² стер, хотя в 21 и 22 циклах СА они нередко превышали значение 10^9 . Положение достаточно резко изменилось с марта 2003 г., когда в течение 45 суток флюэнс превышал значение 10^8 ч·с⁻¹·см⁻² стер и уже не менее 10 раз достиг 10^9 ;

– снижение вспышечной активности привело к значительному росту количества дней со спокойными геомагнитными условиями. В тоже время количество очень больших магнитных бурь ($A_p > 100$) остается на уровне высоких солнечных циклов.

Как видно из рисунка, ветвь спада текущего цикла хорошо соответствует ветви спада предыдущего нечетного цикла. Это дает возможность предположить, что точка минимума текущего 23 цикла СА будет достигнута до конца 2006 г.

Первые значительные вспышечные события текущего цикла СА связаны с группой пятен AR8100 (S21L352; X₂^{9.4}+M₅+C₂₃, XRI=12.26) в начале ноября 1997 г., вспышечный потенциал которой включал в себя первые протонные вспышки, в том числе первую вспышку (X9.4) солнечных космических лучей, т.е. 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 (X5.3 дает 5.3), а вспышки балла M дают десятые доли (M8.3 дает 0.83).

Наиболее интересные вспышечные события фазы роста осуществились в конце апреля – начале мая 1998 г. в группе пятен AR8210 (S16 L330, X₄^{2.7}+M₃+C₁₃, XRI=7.31). Кроме 4 протонных событий, от вспышек в этой АО, Земля не менее 5 раз подвергалась воздействию межпланетных ударных волн, после которых в ОКП развились одна большая и 3 малых магнитных бури. Кроме того, в этот период развития текущего солнечного цикла необходимо отметить 2 периода повышенной вспышечной активности. Это август

1998 г., когда в группе пятен AR8307 (N31 L034) произошло $X_5^{4.9}+M_{10}+C_{11}$ вспышек (XRI=14.40). и в конце ноября в AR8384 (S27 L029; $X_4^{3.7}+M_2+C_7$; XRI=>10.00). Затем до 2 VIII 1999 г. (X1.3) ни одной рентгеновской вспышки балла X на Солнце не произошло.

Следующий значимый всплеск вспышечной активности в первой декаде июня 2000 г. связан с группами пятен AR9026 (N19 L075, $X_3^{2.3}+M_{11}+C_{33}$, XRI=8.88) и AR9033 (N23 L016, $X_1^{1.0}+M_2+C_{15}$; XRI=1.45), в первой из которых 6 VI произошло редкое событие, когда за время одной мощной оптической вспышки балла 3B произошли 4 ($X_{1.1}+M_{7.1}+X_{2.3}+M_{2.2}$) рентгеновских всплеска, три из которых были большими. Следствием геоэффективных вспышек этого периода явилось осуществление в ОКП двух протонных событий и 5 магнитных бурь – одной большой и четырех малых. Наиболее мощный период осуществления больших солнечных вспышек года максимума СА связан с прохождением большой группы пятен AR9077 (N18 L310, $X_3^{5.7}+M_{12}+C_{16}$; XRI=11.37) во второй декаде июля. В этой группе пятен 14.07 произошла мощная солнечная вспышка балла X5.7/3B, получившая собственное имя «Бастилия» и оказавшая сильное воздействие на ОКП. Протонное событие от этой вспышки ($24000 \text{ ч}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{стер}$) вошло в десятку самых больших за всю историю наблюдений (с 1956 г.). Сеть нейтронных мониторов отметила большое возрастание интенсивности космических лучей. Во время очень большой магнитной бури 15 – 16.07 ($A_p = 173$) полярное сияние в северном полушарии можно было наблюдать на широте Одессы (до 43° с. ш.). Сентябрь 2000 г. ознаменовался прохождением по видимому диску Солнца третьей по величине площади в текущем цикле группы пятен AR9169 (N07 L078; $S_p = 2140$ м.д.п., $X_1^{1.2}+M_2+C_{24}$; XRI=1.88). Группа была достаточно спокойной, и активизировалась уже за западным лимбом, в ней произошли две большие вспышки ($X_{1.2}+M_{5.0}$). В третьей декаде ноября большая вспышечная активность была связана с прохождением по видимому диску Солнца группы пятен AR9236 (N20 L352, $X_5^{4.0}+M_3+C_{21}$, XRI=12.69); результатом воздействия которой в ОКП отмечены умеренная магнитная буря 26 – 29.11 и большое солнечное протонное событие ($14800 \text{ ч}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{стер}$).

В конце марта – начале апреля 2001 года отмечен самый мощный период вспышечный период фазы максимума текущего цикла связанный с прохождением по видимому диску Солнца двух групп солнечных пятен, разнесенных по гелиодолготе на 200° : AR 9393 (N20 L152, $S_p=2440$, м.д.п.; $X_4^{>17.5}+M_{24}+C_{28}$; XRI=>25.74 (28.24) и AR9415 (S22 L359; $X_5^{14.4}+M_7+C_{15}$; XRI=28.73). Первая вспышка в этой серии произошла 29.03 и явилась источником очень большой магнитной бури 31 марта. Наибольшей концентрации вспышечная активность достигла 2 – 3 апреля, когда за 17 часов в этих активных областях произошло 4 вспышки рентгеновского балла X, причем в одной (2.04/2132 UT) из них поток мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 1 – 8 Å превысил порог насыщения детектора мягкого рентгена на спутнике GOES ($X>17.5$), а время запираания детектора (τ) достигло 5 мин. Оценочный балл этой вспышки X22, что вывело ее на второе место в текущем цикле СА. В целом, за период с 25.03 по 10.04 в ОКП отмечен приход 6 межпланетных ударных волн, зарегистрировано 5 магнитных бурь и 7 солнечных протонных событий.

31 июля 2001 г. с космодрома Плесецк был успешно запущен исследовательский спутник по наблюдению Солнца КОРОНАС-Ф, который в течение 4.5 года наблюдал Солнце в различных диапазонах электромагнитного и корпускулярного излучения.. Первым большим вспышечным событием после запуска КОРОНАС-Ф была вспышка X5.3

25.08. в группе пятен AR9591 (S12L295; $X_1^{5.3}+M_9+C_{49}$; XRI=6.67), в которой было зарегистрировано излучение в γ – диапазоне (Kuznetsov et al., 2003). В конце сентября по видимому диску Солнца проходила большая группа пятен AR9632 (S18 L268, $X_1^{2.6}+M_1+C_9$; XRI=2.71), в которой произошли два больших вспышечных события баллов X2.6 и M7.6, первое из которых 24.09 вызвало в ОКП большое протонное событие (12900 ч/с см² стер). Эта же группа пятен AR9672 (S18L268, $X_2^{1.3}+M_5+C$; XRI=4.01) на следующем обороте 22 – 25.10 снова выдала серию больших солнечных вспышек (M6.7, X1.2, M6.9 и X1.3), вызвавших малое протонное событие 22 – 23.09 и умеренную магнитную бурю 28.10. Одно из самых больших протонных событий (31700 ч·с⁻¹·см⁻²·стер) и очень большая магнитная буря 5 – 6.11 последовала за большим вспышечным событием балла X1.0/3B 04.11 в группе пятен AR9684 (N06L136; $X_1^{1.0}+M_1+C_{11}$; XRI=1.21). Большое вспышечное событие 21.11 в группе пятен AR9704 (S17L270; $X_1^{1.1}+M_3+C_{44}$; XRI=2.61), включавшее в себя вспышку малого балла C4.7, и выброс большого солнечного волокна, сопровождавшееся ярким выбросом коронального вещества и динамическими радио всплесками II и IV типов, вызвало в ОКП одну из самых больших магнитных бурь текущего солнечного цикла (24 – 25.11) и большое протонное событие (18900 ч·с⁻¹·см⁻²·стер) 22-24.11. Последняя мощная вспышка 2001 г. произошла в группе пятен AR9733 (N14 L313; $X_2^{6.2}+M_4+C_{20}$; XRI=8.99) 13 декабря, вызвав значимое воздействие на дневную ионосферу Земли.

После этих событий, ярких периодов высокой активности Солнца не было до второй декады июля 2002 г., когда на видимом диске Солнца наблюдались 2 большие вспышечно-активные группы пятен: AR 10030 (N18 L012; $X_2^{3.0}+M_5+C_{40}$; XRI=7.33) и AR10039 (S12 L204 $X_3^{4.8}+M_4 +C_{28}$; XRI=10.33). Возмущения вспышечных событий этих двух АО в основном воздействовали на дневную ионосферу. На следующем обороте в августе 2002 г. вспышечная активность была связана с группой пятен AR10069 (S10L298; $X_2^{3.1}+M_{17}+C_{55}$; XRI=8.16). В период 20 – 24.08 в ней осуществилось четыре большие вспышки, наибольшая из которых балла X3.1 24.08 явилась источником протонного события (317 ч·с⁻¹·см⁻²·стер). 5 сентября в распадающейся группе пятен AR10102 (N08L019) произошло большое вспышечное событие, состоящее из вспышки балла C5.2 и выброса большого солнечного волокна, следствием которого был выброс коронального вещества типа «полного гало». Межпланетная ударная волна от этого события достигла Земли 7/1638 UT, вызвав в ОКП большую магнитную бурю. Вспышки средних баллов и выброс волокна 27-29.09 стали наиболее вероятной причиной ОБМБ 1 – 2.10 2002 г.

Следующий период повышенной вспышечной активности с появлением 14.03.2003 г. в центральной зоне южного полушария быстроразвивающейся группы пятен AR10314 (S15L061; $X_2^{1.5}+M_6+C_{23}$; XRI=4.23). За 42 часа 17 – 19.03 в ней осуществились все вспышки большого и среднего балла. Конец мая 2003 г. (27 – 29.05) ознаменовался серией больших солнечных вспышек в группе пятен AR10365 (S07 L182; $X_3^{3.6}+M_9+C_{33}$; XRI=7.91), возмущения от которых вызвали в ОКП магнитные бури и серию протонных событий малой и средней интенсивности. Период 9-12 июня 2003 г. ознаменовался высокой вспышечной активностью группы пятен AR10375 (N12 L022; $X_3^{1.7}+M_{29}+C_{45}$; XRI=11.42)

Наибольшей концентрации вспышечная активность в текущем цикле достигла в период 19.10 – 05.11.2003 г., когда видимый диск Солнца проходили сразу три больших и

вспышечно-активных групп солнечных пятен: одна в южном полушарии, самая большая по площади группа пятен в текущем цикле СА и две – в северном (Veselovsky et al., 2004). Период начался с появления из-за восточного лимба (17.10) группы пятен AR10484 (N03 L354; $X_2^{1.2}+M_6+C_{28}$; XRI=5.73), которая уже 19.10 выдала вспышку балла X1.1. После всплытия нового мощного магнитного потока 26.10, значительно увеличившего площадь группы пятен, в ней осуществились еще две большие вспышки (X1.2/2N и M7.6/2N), после чего 29.10 она в полном развитии ушла за западный лимб Солнца. После выхода (21.10) на видимый диск Солнца группы пятен AR10486 (S17 L283; $X_7^{>17.5}+M_{16}+C_{16}$; XRI=>62.56), которая развилась в большую группу пятен на невидимой стороне Солнца. 23.10 в ней произошли вспышки балла X5.4/1B и X1.1/1N, а 24.10 – вспышка балла M7.6/1N. 24-25.10 в этой АО произошло новое всплытие мощного магнитного потока, почти в 2 раза увеличившего площадь группы пятен и породившего вспышки балла X1.2/3B (26.10), M5.0/1F и M6.7/1F (27.10). Всплытие следующего нового магнитного потока (27 – 28.10), увеличило площадь группы пятен до рекордного для текущего цикла значения – $S_p=2610$ м.д.п. позволило 28.10 осуществиться третьей по мощности вспышке текущего цикла балла X17.3/4B. Возмущения от предыдущих вспышек вызвали в околоземном космическом пространстве малую магнитную бурю 28.10, которая с приходом возмущения от последней вспышки выросла до очень большой (29 – 31.10) – самой мощной магнитной бури текущего солнечного цикла. Полярные сияния, сопровождавшие эту магнитную бурю, наблюдались в Южной Калифорнии и на юге Греции. От этой же вспышки в ОКП пришли высокоэнергичные солнечные протоны и вызвали в нем протонное событие очень большой интенсивности ($29500 \text{ ч} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{стер}$). Следующий период вспышечного энерговыделения в данной АО начался 02.11 вспышкой балла X8.3/2B и продолжился 4.11 самой интенсивной по потоку мягкого рентгеновского излучения в текущем цикле вспышкой балла $X>17.5/3B$ ($\tau=11$ мин.). Эта вспышка произошла вблизи западного лимба Солнца и существенного влияния на геомагнитную обстановку не произвела, однако большие солнечные протонные события с максимумами 2 и 4.10 соответственно, в ОКП осуществились. Третья группа пятен AR10488 (N08 L291; $X_3^{3.9}+C_{48}$; XRI=8.57). образовалась 27.10 в центральной области северного полушария Солнца, и, несмотря на быстрое развитие, до 3 октября выдавала лишь вспышки среднего балла, а 3.11 в ней осуществились вспышки балла X2.7 и X3.9. На втором обороте только в первой из этих трех групп пятен AR10501 (N03 L002; $M_{11}^{9.6}+C_{20}$; XRI=4.03) произошли значимые геоэффективные вспышечные события. Возмущение от сложного вспышечного события 18.11, когда за время осуществления вспышки оптического балла 2N было зарегистрировано 2 рентгеновских всплеска баллов M3.2 и M3.9, вызвал в ОКП очень большую и интенсивную магнитную бурю, лишь немногим уступающую по величине октябрьской.

Следующий значимый всплеск вспышечной активности связан с группой пятен AR10649 (S10L044; $X_6^{3.6}+M_{10}+C_6$; XRI=14.57), которая 11.07.2004 г. вышла на видимый диск Солнца. Все вспышки большого и среднего балла произошли в период с 13 по 18.07, однако существенного влияния на состояние ОКП не оказали, вызвав лишь внезапные ионосферные возмущения на дневной стороне Земли и одну малую магнитную бурю 17 июля. Еще в конце первой декады июля 2004 г. методами гелиосейсмологии было определено, что на обратной стороне Солнца проходит очень большая группа солнечных пятен, которая 16 июля вышла на видимый диск Солнца AR10652 (N08L345; $M_{17}^{9.1}+C_{59}$;

XRI=4.75). При своем прохождении выдала 17 вспышек балла M, среди которых были три большие. Геоэффективность вспышечных событий этой группы пятен с площадью 2010 м.д.п. была очень высока 25 и 27.07, когда магнитные бури достигли порога очень больших. Быстрое всплытие нового магнитного потока отмечено 10 – 11.08. 2004 в группе пятен AR10656 (S13L083; $X_2^{1.8}+M_{23}+C_{94}$; XRI=8.67), привело к осуществлению за 54 часа 13 – 15.08 4 больших вспышки, (одна балла X1.0) и 12 вспышек среднего балла. Остальные значимые вспышки произошли за 56 часов 17 – 19.08 (вспышка балла X1.8 и 5 вспышек балла M). Все эти вспышки не вызвали заметных геомагнитных возмущений и их воздействие на ОКП ограничилось внезапными ионосферными возмущениями. С 3.11.2004 г. начался семидневный период значительной вспышечной активности группы пятен AR10696 (N08L026; $X_2^{2.5}+M_{13}+C_{37}$; XRI=9.71), которая зародилась на видимом диске Солнца 1 ноября вблизи восточного лимба. В первый вспышечный период за 96 часов 3 – 7 ноября в группе среди прочих осуществилось два значимых геоэффективных вспышечных события: вспышка 6.11 с оптическим баллом 2N «объединила» три рентгеновских всплеска M9.3, M5.9 и M1.4 вспышка балла X2.0. Возмущения от этих вспышек вызвали в ОКП очень большую магнитную бурю 9 – 10.11 и протонное событие средней интенсивности. Второй вспышечный период наступил 9 – 10.11, когда за 9 часов в АО осуществились 2 большие вспышки (M8.9 и X2.5).

В первую минуту 2005 года в группе пятен AR10715 (N05L339; $X_1^{1.7}+M_4+C_{13}$; XRI=2.69); произошла вспышка балла X1.7/2B, сопровождавшаяся выбросом солнечного вещества, который через 35 часов достиг окрестностей Земли, вызвав малую магнитную бурю. 10 января на видимом диске Солнца в северном полушарии вблизи восточного лимба зародилась новая группа пятен AR10720 (N09L177; $X_5^{7.1}+M_{19}+C_{65}$; XRI=21.5), которая с 12.01 начала бурное развитие и в период 14 – 15.01 за 17 часов АО (X_2+M_9) вспышек, среди которых 4 больших. Второй вспышечный период занял 9 часов 16-17.01 (X_1+M_3 – 1 большая), и третий период длился 39 часов 18-20.01 (X_2+M_4 – 3 больших), завершившись самой мощной после 4.11.2003 г. вспышкой балла X7.1/3B, поток заряженных частиц с энергиями больше 100 МэВ от которой был самым большим с октября 1989 г. Поток протонов самых больших энергий (больше 1 ГэВ) от этой вспышки вызвал большое возрастание (по станции Москва ~105%) уровня сигнала наземных нейтронных мониторов космических лучей. Это самая большая вспышка в космических лучах за 2 последних цикла СА. Все большие вспышки были геоэффективными и следствием их в ОКП зарегистрированы 2 умеренные и одна очень большая магнитные бури, одновременно с которыми развивались и большие протонные события.

С 1.07.2005 г. по видимому диску Солнца проходила активная область AR10786 (N13L056, $X_1^{1.2}+M_{14}^{9.1}+C_{41}$, XRI=4.640). Геоэффективные вспышки в этой активной области произошли, когда группа пятен была в центре солнечного диска. Две вспышки рентгеновского балла M4.5 7.07 и M2.8 9 июля сопровождались выбросами коронального вещества типа «гало». Выбросы коронального вещества такого типа от вспышек на видимом диске Солнца указывают на то, что возмущение от данных вспышек с большой вероятностью попадает в околоземное космическое пространство, вызывая магнитные бури. Умеренные магнитные бури осуществились 13 – 14 и 16 – 17 июля. При подходе к западному лимбу Солнца 12 – 14 июля за 52 часа в группе пятен осуществилось 11 вспышек рентгеновского балла M и одна – рентгеновского балла X, из которых три было больших (M5.0 13.07, M9.1 и X1.2 14.07). Следствием больших вспышек стало солнечное

протонное событие, длившееся до начала суток 17 июля. По косвенным данным значимые вспышки продолжались в этой активной области до 17 июля, когда было зарегистрировано последнее в этой вспышечной серии солнечное протонное событие малой интенсивности. Это понятно, т.к. к этому времени группа пятен уже 3 суток была на невидимой половине Солнца. С 27 июля за сутки до выхода на видимый диск Солнца началась вспышечная активность группы пятен AR10792 (N12L057, $X_1^{1.3}+M_2+C_{11}$, XRI=1.51), следующий оборот предыдущей активной области. Основная доля вспышек осуществилась в период 30.09 – 1.09, когда за 55 часов в активной области произошли большая вспышка балла X1.3/2B (30.09) и две вспышки среднего балла.

Следующий импульс вспышечной активности зарегистрирован на Солнце уже в начале третьей декады, когда образовавшаяся на видимом диске Солнца 14.08 группа пятен AR10798 (S05L216), уже пройдя центр диска внезапно активизировалась. 19 августа в ней началось всплытие быстрого, значимой величины нового магнитного потока. За одни сутки площадь группы пятен выросла больше чем в три раза и достигла величины 560 м.д.п. Следствием взаимодействия старого и нового магнитных потоков 22 – 23 августа за 38 часов активная область произвела 3 протонных вспышки баллов M2.6, M5.6 (22.08) и M2.7 (23.08). 25 августа вблизи восточного лимба в группе пятен с координатами AR10803 (N08L059) произошла большая вспышка балла M6.4/SF.

Последним периодом экстремальной вспышечной активности стал сентябрь 2005 г., когда по видимому диску Солнца проходила AR10808 (S11L229, $X_{10}^{17.1}+M_{20}+C_{47}$), одна из самых вспышечно-активных областей не только в текущем цикле солнечной активности, но и за всю историю солнечных наблюдений. Большая группа пятен прошлого оборота Солнца на невидимой стороне почти в три раза увеличила свою площадь и резко повысила вспышечную активность. Уже за несколько суток до выхода на восточный лимб в невидимой до 7 сентября группе пятен наблюдались достаточно мощные выбросы коронального вещества, которые являются наблюдаемыми свидетельствами больших вспышечных событий. Выход на видимую полусферу Солнца данной группы пятен ознаменовалось осуществлением в ней четвертой по величине рентгеновского балла вспышкой (X17.1/3B) за текущий солнечный цикл. Далее, в период до 10 сентября, в ней произошли 7 больших вспышек, из которых 6 было рентгеновского балла X. Следствием это высокой вспышечной активности в околоземном космическом пространстве были малая и большая магнитные бури 9 и 10 – 14 сентября и солнечного протонного событие большой интенсивности. 12 – 13 сентября в этой же группе пятен осуществился второй импульс вспышечной активности. За 39 часов солнечные наблюдатели зарегистрировали 3 большие вспышки, две из которых имели рентгеновский балл больше X. Возмущения от этих вспышек вызвали в окрестностях Земли умеренную магнитную бурю 14-15 сентября и продлило солнечное протонное событие на умеренном уровне до 16 сентября. Последние большие вспышки в этой группе пятен произошли 15 и 17 сентября. Всего в этой активной области произошло 11 вспышек балла X и 22 вспышки балла M, что выводит ее на 4 место по вспышечному потенциалу за все время исследований Солнца в рентгеновском диапазоне.

Пятнообразовательная активность Солнца в ноябре 2005 г. была на среднем уровне только трое суток в конце второй декады месяца, когда на видимый диск Солнца вышла большая группа пятен (AR10822, S04L080, Sp=810 м.д.п., n=22, EKI, γ на

14.11.2005) южного полушария Солнца. Основное развитие группа пятен получила вблизи восточного лимба Солнца. Период осуществления вспышек наблюдался 13 – 15 ноября, когда за 50 часов в активной области произошло 5 вспышек среднего балла. Все вспышки располагались вне зоны влияния на магнитное поле Земли и в околоземном космическом пространстве после них отмечены только следствия воздействия ультрафиолетового и рентгеновского излучения – внезапные ионосферные возмущения средней и малой интенсивности. Эти вспышки были самыми значимыми солнечными вспышками месяца вместе с двумя небольшими выбросами солнечных волокон. Кроме них одна вспышка среднего балла M произошла в группе пятен AR10826 в последний день месяца.

В период с 1 по 6 декабря пятнообразовательная деятельность Солнца была на среднем уровне. На видимом диске одновременно наблюдалось 4 – 5 групп солнечных пятен, среди которых больших не было. Однако в появившейся на видимом диске Солнца 28.11 активная область AR10826, S02L249, Sp=490 м.д.п., n=32, FKC, δ на 2.12.2005) с 30.11 на 1.12 резко активизировалась, увеличив свою площадь в 7 раз. 2 декабря за 10 часов в ней осуществилось 3 вспышки балла M, из которых 2 были большими. Всего же в данной активной области осуществилось 5 вспышек балла M. Значимых возмущений околоземного пространства эти вспышки не произвели.

В текущем 23 солнечном цикле на 117месяцев развития можно было наблюдать 120 больших солнечных вспышек, среди которых 16 вспышек с баллом $X>5$, 6 вспышки с баллом $X\geq 10$ из них 4 суперсобытия с рентгеновским баллом $X>17.0$. В таблице 3 приведены основные характеристики больших вспышек с баллом $\geq X3.0$.

Наиболее мощные солнечные вспышки по интенсивности потока излучения в диапазоне (1 – 12.5 кэВ) с рентгеновским баллом $X\geq 3.0$

Место	Г/М/Д	Балл	τ	Координаты	АО
1	2003/11/04	$X>17.5 \gamma$	11 ^m (X28)	S19W83L286	10486
2	2001/04/02	$X>17.5$	5 ^{m?} (X22 ⁺)	N19W90L152	9393
3	2003/10/28	$X17.2 \gamma$		S16E08L286	10486
4	2005/09/07	$X17.1 \gamma$		S12E89L229	10808
5	2001/04/15	$X14.4$		S20W85L001	9415
6	2003/10/29	$X10.0 \gamma$		S15W02L286	10486
7	1997/11/6	$X9.4 \gamma$ GLE		S18W63L352	8100
8	2003/11/02	$X8.3 \gamma$		S14W56L286	10486
9	2005/01/20	$X7.1 \gamma$ GLE		N15W56L177	10720
10	2001/12/12	$X6.3\gamma$		S09E16L020	9727
11	2005/09/09	$X6.2\gamma$		S10E66L229	10808
12	2000/07/14	$X5.7 \gamma$		N22W07L320	9077
13	2001/04/05	$X5.6 \gamma$		S21E31L001	9415
14	2003/10/23	$X5.4$		S21E88L286	10486
15	2005/09/09	$X5.3\gamma$		S11E74L229	10808
16	2001/08/25	$X5.3 \gamma$		S17E34L296	9591
17	1998/08/18	$X4.9 \gamma$		N33E87L034	8307
18	2002/07/23	$X4.8 \gamma$		S13E72L204	10039
19	2000/11/26	$X4.0$		N18W38L352	9236
20	1998/08/19	$X3.9 \gamma$		N32E75L035	8307
21	2003/11/03	$X3.9 \gamma$		N08W77L291	10488

22	2005/01/17	X3.8 γ		N15W25L177	10720
23	1998/11/22	X3.7 γ		S27W82L029	8384
24	2003/05/28	X3.6 γ		S07W20L182	10365
25	2004/07/16	X3.6		S11E35L044	10649
26	2001/12/28	X3.4 γ GLE		SEL018	9767?
27	1998/11/28	X3.3 γ		N17E32L182	8395
28	2002/07/20	X3.3 γ		S13E90L204	10039
29	2002/08/24	X3.1 γ		S02W81L298	10069
30	2002/07/15	X3.0 γ		N19W01L012	10030

τ – время насыщения детекторов мягкого рентгеновского излучения КА GOES – 9, 10 с порогом $X > 17.5$ во время максимума солнечных экстремальных вспышек.

Области локализации активных областей – генераторов больших вспышек в текущем цикле достаточно четко разделились во времени на два интервала, граница между которыми проходит по июню 2003 года. В первом интервале такие активные области появлялись в основном в южном полушарии (12/4), примерно равно в полосах долгот L (182° – 204°)³, (235° – 298°)⁴, (331° – 027°)⁴. Во втором – в основном в северном (11/3), в тех же долготных полосах с явным преобладанием последней (4, 3, 8). В долготной полосе L (061 – 133) в обоих временных интервалах появились по 2 вспышечно – активные области. По количеству периодов вспышечного энерговыделения активные области времени полета НИС КОРОНАС-Ф разделились следующим образом: в двух АО наблюдалось по три периода осуществления больших вспышек, в 11 – по два и в 13 случаях реализация больших вспышек происходила в одном временном интервале. Величина интервала занимала от 5 до 85 часов. Почти четыре пятых вспышечных событий осуществились в интервалах длительностью от 14 до 59 часов.

Начальный период развития текущего цикла, как и предыдущего XXII, 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 происходят на фазе роста и, особенно, на фазе спада цикла. Некоторые особенности развития текущего 23 цикла солнечной активности и картина развития типичных для данного цикла АО могут свидетельствовать о смене режима генерации магнитных полей в конвективной зоне Солнца. В этом случае возможно Солнце вступает в период средних и малых 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 приведет 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 значительно уменьшится, что приведет к еще большему загрязнению ОКП (неблагоприятный режим очистки низких орбит от космического мусора), другим, возможно, неблагоприятным последствиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнечная и солнечно-земная физика, иллюстрированный словарь терминов // под ред. Бруцека А., Дюрана Ш., Фельдштейна Я.И., Обридко В.Н., изд. МИР, Москва, 1980, С. 73.
 2. Ishkov V.N. The current 23 cycle of solar activity: its evolution and principal features // Proceedings of ISCS 'Solar Variability as an input to the Earth's Environment' (ESA SP-535, Sept. 2003). P. 103 – 104.
 3. Harvey K.L., Recely F., Hirman J., Cohen N. // Solar-Terrestrial Prediction. V.5. P. 77 – 84.
 4. Kuznetsov, S.A., Kudela, K., Myagkova I.N., Yushkov B. Yu. X-ray and gamma-emission solar flare catalogue obtained by SONG on board CORONAS-F satellite // Proceedings of ISCS 'Solar Variability as an input to the Earth's Environment' (ESA SP-535, Sept. 2003). P. 683 – 686.
- Veselovsky, I.S., Panasyuk, M.I., Avdyushin, S.I. et al. Solar and heliospheric phenomena in October – November 2003: causes and effects // Cos. Re. 2004. V.42. P. 435.

© 2006 г. В. Н. Ишков