

УДК 523.985.3

**Вспышки класса X в 24 цикле активности Солнца:
предвспышечная и послевспышечная ситуация в активной
области
Часть 2. Особенности магнитной конфигурации и движений
в группах с высокой вспышечной активностью (две и более
вспышки рентгеновского класса X)**

Ю.А. Фурсяк

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, Научный, 298409
yuriy_fursyak@mail.ru

Поступила в редакцию 21 января 2015 г.

Аннотация. В работе проанализированы динамические процессы и особенности магнитной конфигурации в активных областях, в которых зафиксировано две и более вспышки рентгеновского класса X. Делается вывод о роли высоких градиентов магнитного поля, особенностях формирования группы и неустойчивости магнитной конфигурации активной области в возникновении и дальнейшем развитии мощных вспышечных процессов, максимальный поток энергии от которых на орбите Земли в диапазоне длин волн 1–8 Å составляет не менее 10^{-1} эрг/(см² × сек).

X-CLASS FLARES DURING SOLAR CYCLE 24: PRE-FLARE AND POST-FLARE CONDITIONS IN ACTIVE REGIONS. PART II, *by Yu.A. Fursiak*. This paper analyzes dynamic processes and features of the magnetic configuration in active regions, there were two or more X-class solar flares recorded. It is concluded the role of high magnetic field gradients, features of group formation and instability of the magnetic configuration of the active region in the emergence and further development of high-power flare processes, the maximum energy flow from which at the Earth's orbit in the wavelength range of 1–8 Å is not less than 10^{-1} erg/(cm² × s).

Ключевые слова: Солнце, вспышки, активные области, магнитные поля

1 Введение

Солнечная вспышка является сложным физическим процессом, природа которого до сих пор остается невыясненной несмотря на длительную историю исследований. Предсказать место возникновения вспышечного процесса, время начала развития вспышки и, что немаловажно, ее мощность даже сегодня является большой проблемой. Хотя нужно отметить, прогресс в этом вопросе есть. Еще в 70-х годах XX века на основании многолетних наблюдений и исследований были определены критерии, которые позволяли прогнозировать вспышки с вероятностью до 85 % (Коваль, Степанян, 1976). Так, академик А.Б. Северный как один из главных критериев возникновения сильных вспышек

рассматривал высокие градиенты продольных и поперечных магнитных полей в областях сложной структуры магнитного поля. В статье (Северный, 1960) указывается минимальное значение градиента продольного магнитного поля в 0.1 Гс/км, при котором могут возникать мощные вспышки. В работе А.Б. Северного, Н.Н. Степанян, Н.В. Стешенко (Северный и др., 1979) обобщены параметры, которые дают возможность с высокой степенью вероятности спрогнозировать вспышечный процесс. Среди них: высокие градиенты магнитного поля, вращение группы пятен, появление новых пятен в области, наличие групп-сателлитов и др. Еще ранее А.Н. Коваль (1974) показала, что если хотя бы один участок линии раздела полярностей (ЛРП) расположен параллельно экватору, то в этом месте с вероятностью 80 % произойдет вспышка балла 1 или более.

В настоящее время также как один из основных параметров высокой вспышечной активности группы рассматривается сложность магнитного поля активной области. Действительно, подавляющее большинство мощных вспышек, в том числе и вспышек рентгеновского класса X (вспышки, максимальный поток энергии от которых на орбите Земли в диапазоне длин волн 1–8 Å составляет не менее 10^{-1} эрг/(см² × сек)), наблюдается в областях, в которых формируется δ-конфигурация магнитного поля (ядра разной полярности находятся в одной полутени пятна). Анализ данных за период с января 2009 года (начало 24 цикла активности Солнца) по ноябрь 2014 года (включительно) показал:

- δ-конфигурация магнитного поля наблюдалась в 91 активной области;
- вспышки класса X наблюдались в 22 активных областях с δ-конфигурацией поля, что составляет 24 % от общего количества подобных групп;
- с начала 24 цикла зафиксировано 37 вспышек рентгеновского класса X; из них 34 произошли в δ-группах (в 14 активных областях было зарегистрировано по одной мощной вспышке, в 8 – по две и более).

Исходя из статистических данных, можно сделать следующие выводы: подавляющее большинство мощных вспышек (не менее 90 %) развивается в группах со сложной структурой магнитного поля. При этом далеко не каждая активная область с δ-конфигурацией магнитного поля является источником вспышек класса X: мощные вспышки зафиксированы лишь в 24 % таких областей. Подобные результаты получены в предыдущей работе (Фурсяк, 2013) (анализировался более короткий временной ряд), а также в исследовании китайских ученых Ши и Ванга (1994), которые анализировали данные по δ-группам и вспышкам класса X в них за период с сентября 1986 года по декабрь 1992 года (22 цикл солнечной активности).

Задачей работы является изучение морфологических особенностей, магнитной структуры и эволюции активных областей текущего цикла активности Солнца, в которых зафиксировано две и более вспышки рентгеновского класса X, с целью определить параметры, которые играли ключевую роль в возникновении и развитии мощного вспышечного процесса в каждом из рассмотренных случаев.

2 Используемые данные

В работе использовались данные наблюдений следующих наземных и космических телескопов:

1. БСТ-2 НИИ “КрАО” – данные о магнитных полях пятен исследуемых групп;
2. 150-футовый солнечный телескоп обсерватории Маунт-Вилсон – данные о магнитных полях пятен;
3. SDO – фотогелиограммы и магнитограммы активных областей, получаемые прибором HMI;
4. GOES-15 – данные потока рентгеновского излучения в диапазоне длин волн 1–8 Å.

Используемые интернет-ресурсы:

1. <http://heliviewer.org/>, <http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/aiahmi/> – использовались для получения данных прибора HMI/SDO;

2. <http://www.thesis.lebedev.ru/> – данные об изменении общей площади исследуемых активных областей и количестве вспышек в них;
3. http://solar.crao.crimea.ua/rus/sunspots_mf.htm\#archive – архив измерений магнитных полей пятен на телескопе БСТ-2 Крымской астрофизической обсерватории;
4. <ftp://howard.astro.ucla.edu/pub/obs/drawings> – архив измерений магнитных полей пятен на 150-футовом солнечном телескопе обсерватории Маунт-Вилсон;
5. http://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events_archive.html – некоторые данные о вспышках (время начала (UT), максимальное значение потока рентгеновского излучения).

3 Параметры, определяющие вспышечную активность группы

Как было показано (Ши, Ванг, 1994), само по себе наличие δ -конфигурации магнитного поля в группе пятен еще не означает, что в данной области возникнет мощная вспышка. Существуют параметры, которые в гораздо большей степени влияют на вспышечную активность области. Рассмотрим основные из них.

- I. Высокие градиенты магнитных полей в компактной активной области. При этом компактной активной областью может выступать как группа пятен целиком, так и ее часть, где достаточно близко друг от друга находятся пятна противоположных полярностей, имеющие относительно большие размеры (зависимость между линейными размерами пятен и максимальными напряжениями магнитного поля в них установлена Хаутгастом и Слойтерсом (1948)).
- II. Особенности формирования δ -конфигурации магнитного поля. Данный вопрос детально рассматривается в работе Зирин и Лиггетт (1987). Они разделили группы с δ -конфигурациями на три класса в зависимости от особенностей их формирования:
 1. Комплекс пятен, развивающийся за достаточно короткий промежуток времени в компактные области с высокими градиентами и сложной картиной магнитного поля. Появление таких областей является следствием скрученности выходящих магнитных силовых трубок. Появление, развитие и высокая вспышечная активность подобных областей рассматривается во многих работах, в частности в статьях Бабин и Коваль (2001), Зирин и Танака (1973).
 2. Компактная δ -группа, сформированная в два этапа, с большими дипольными структурами в полутени большого пятна ведущей полярности.
 3. δ -конфигурация, образованная путем столкновения двух отдельных биполярных структур; при этом лидер одной подгруппы сталкивается с хвостовой структурой второй. В таких случаях формируется центральная подгруппа, обладающая высокой вспышечной активностью. Зирин и Лиггетт делают вывод о том, что возникновение мощных вспышек более вероятно в δ -группах первых двух типов. Области, относящиеся к третьему типу, в большинстве случаев имеют более низкую вспышечную активность, хотя есть и исключения. Так, группа AR11158, образованная путем слияния двух биполярных структур (третий тип по классификации Зирин и Лиггетт), обладала высокой вспышечной активностью: в ней зафиксированы 70 вспышечных процессов, среди которых 5 имели рентгеновский класс M и одна – класс X (X2.2 15 февраля 2011 года). Наиболее вероятной причиной такой активности являются движения отдельных пятен в центральной подгруппе (рис. 1), хорошо заметные при рассмотрении фотогелиограмм или магнитограмм области за период в несколько суток с интервалом в 6–12 часов.
- III. Большой наклон участка линии раздела полярностей к меридиану. Данный параметр также является одним из ключевых признаков высокой вспышечной активности группы. В 24 цикле все группы, в которых зафиксированы две и более вспышки класса X, обладали этой особенностью. Наиболее ярким примером служит AR11283, в которой участок ЛРП в центральной подгруппе проходит под большим углом к меридиану (рис. 2). В этой области зафиксировано 2 вспышки класса X: 06.09.2011 (X2.1) и 07.09.2011 (X1.8).
- IV. Фаза развития и динамические процессы в активной области. На ранних стадиях формирования активной области происходят интенсивные движения отдельных пятен, слияние мелких пятен в крупные, выходы новых магнитных потоков и усложнение общей картины магнитных

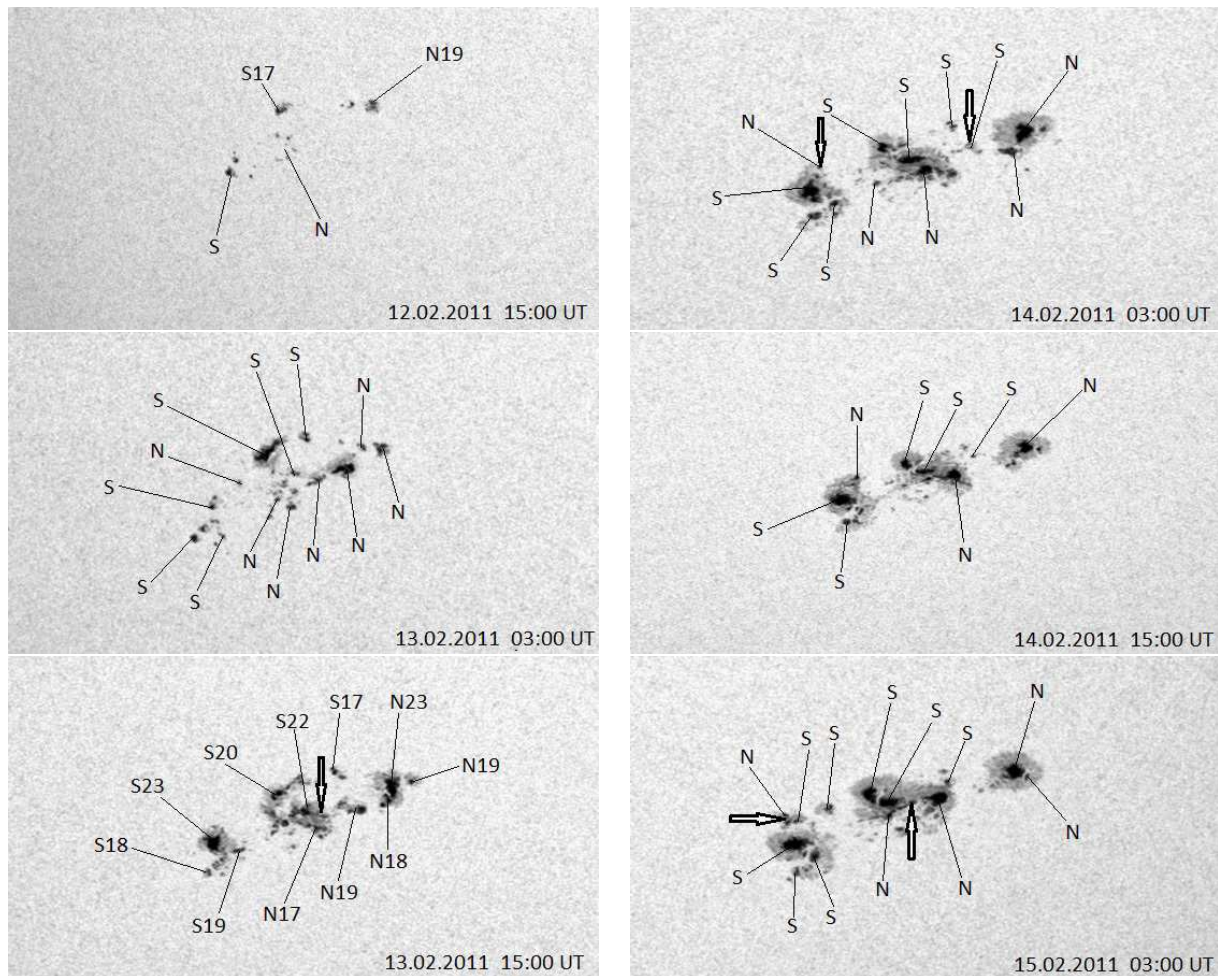


Рис. 1. Эволюция и распределение магнитных полей в области AR11158 за период с 12:00 UT 12.02.2011 по 12:00 UT 15.02.2011 с интервалом в 12 часов. Группа сформировалась путем слияния двух близко расположенных биполярных областей. В центральной части путем слияния хвостовой полярности одной группы с ведущей полярностью другой сформировалась мощная δ -конфигурация, которая служила источником большей части вспышек, зафиксированных в данной области, в том числе и вспышки класса X2.2 15.02.2011 года. Данные прибора HMI/SDO

полей в группе. Если при этом группа оказывается достаточно компактной, то совокупность указанных факторов приводит к росту вспышечной активности области. Поэтому подавляющее большинство вспышек класса X, а тем более их серии, наблюдаются на восходящей ветви развития группы пятен вблизи максимума.

4 Анализ активных областей с высокой вспышечной активностью (две и более вспышки класса X)

С начала 24 цикла активности Солнца лишь в 8 группах наблюдались две и более вспышки рентгеновского класса X. В четырех областях (AR11302, AR11748, AR11882, AR12087) мощные вспышки

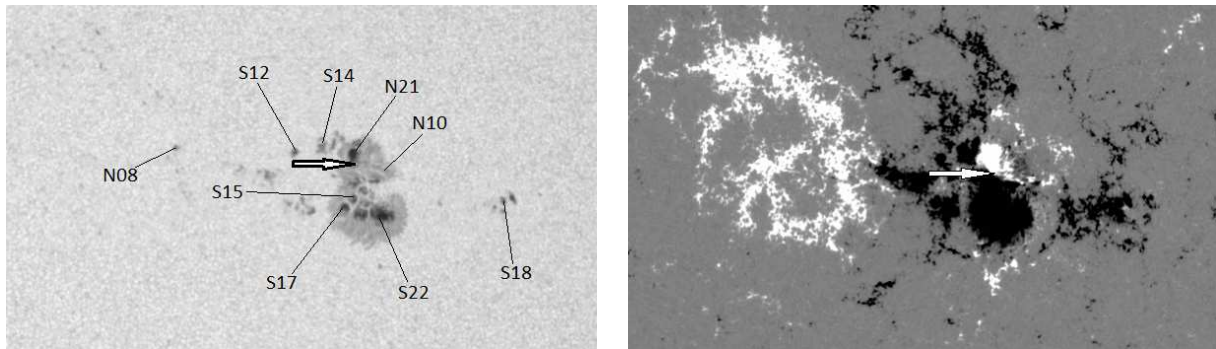


Рис. 2. Фотогелиограмма (слева) с указанием полярности крупных пятен и напряженности магнитного поля в них (в сотнях Гаусс) и магнитограмма (справа) области NOAA AR11283 22:00 UT 06.09.2011. Стрелкой на магнитограмме показан участок ЛРП, расположенный под большим углом к меридиану. На фотогелиограмме стрелкой указана соответствующая область δ -конфигурации. В данной группе зафиксировано две вспышки рентгеновского класса X

наблюдались вблизи восточного лимба. Поэтому провести детальный анализ их эволюции в дни, предшествующие X-вспышкам, не представляется возможным. Для вышеуказанных областей делаются лишь общие выводы об особенностях эволюции, возрасте группы, темпах ее развития и других характеристиках. Для групп, в которых вспышки класса X развивались на видимой стороне Солнца, проведен более глубокий анализ с целью определить, какие из параметров играли решающую роль в возникновении и развитии мощных вспышечных процессов.

4.1 AR11283

Область NOAA AR11283 появилась 31 августа 2011 года на восточном лимбе в виде одиночного пятна площадью 60 м. д. п. в окружении ярких фотосферных факелов и нескольких пор. В течение последующих трех суток развивается биполярная структура группы с преобладанием пятен ведущей S-полярности. С 4 сентября 2011 года в западной части группы (вблизи пятен S-полярности) начинают появляться пятна с N-полярностью (рис. 3). Первое N-пятно появилось юго-восточнее ведущего пятна группы (на фотогелиограмме от 04.09.2011 на рис. 3 указано стрелкой) и исчезло в течение суток. В этот же день начала формироваться структура N-полярности севернее ведущего пятна группы, которая проявилась в виде пятна с напряженностью около 1500 Гс 5 сентября 2011 года (на фотогелиограмме, датированной этим днем, указана стрелкой). Появление этой структуры и усиление магнитного поля в ней (с 1500 до 2100 Гс) приводит к появлению участка ЛРП, перпендикулярного меридиану в западной части группы, и развитию вспышки класса X2.1 в 22:12 UT 06.09.2011. Дальнейшее движение пятна N-полярности на юго-восток приводит к сближению с большим пятном ведущей S-полярности, окончательному формированию δ -конфигурации и возникновению в области второй вспышки X1.8 в 22:32 UT 07.09.2011 года. В последующие несколько дней происходят движения пятен N-полярности на восток и упрощение общей картины магнитного поля области. Группа переходит в фазу распада.

4.2 AR11302

Видимость группы составляла 13 дней – с 23 сентября по 5 октября 2011 года. Первая вспышка класса X произошла за лимбом 22 сентября, вторая – 24 сентября, когда область находилась недалеко от лимба. Следовательно, проанализировать ситуацию, которая привела к развитию мощных

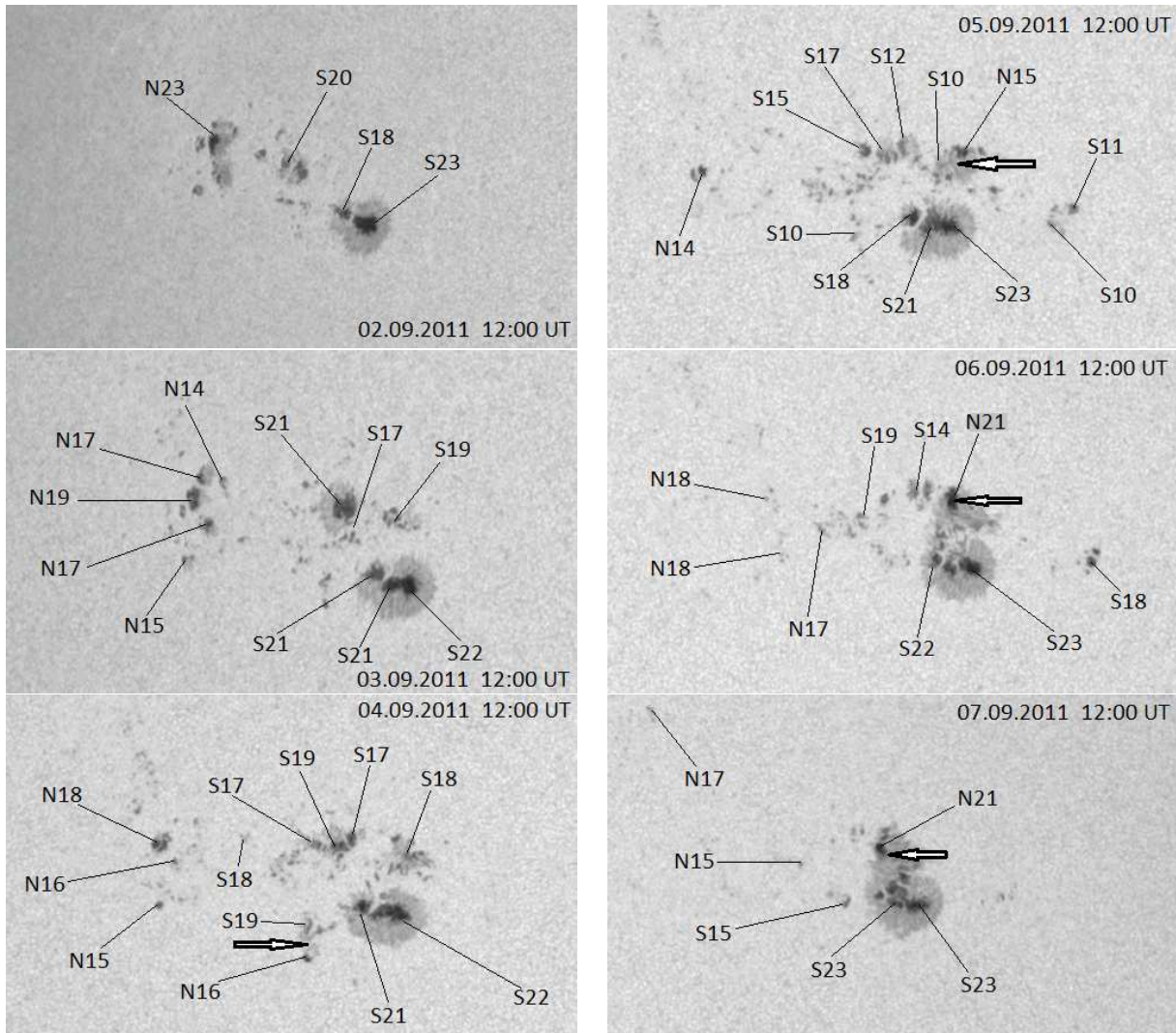


Рис. 3. Динамика развития области NOAA AR11283 с 12:00 UT 02.09.2011 по 12:00 UT 08.09.2011. Стрелками на фотогелиограммах указаны точки выхода на поверхность новых потоков

вспышечных процессов, достаточно трудно. Очевидно, обе вспышки X-класса связаны с выходом новых магнитных потоков в развивающейся активной области (о том, что область находилась на восходящей ветви развития, можно судить по графику изменения общей площади группы (рис. 4)) в пределах компактной центральной подгруппы и формированием в дальнейшем δ -конфигурации магнитного поля (рис. 5).

4.3 AR11429

Активная область AR11429 (рис. 6), появившаяся в начале марта 2012 года, является, несомненно, одной из самых интересных с начала 24 цикла активности Солнца. Группа очень компактная (на восходящей ветви развития ее долготная протяженность не превышала 10 гелиографических градусов при общей площади пятен группы до 1270 м. д. п.), обладающая достаточно большими пятнами и сильно наклоненной к меридиану (некоторые участки почти перпендикулярны) линией

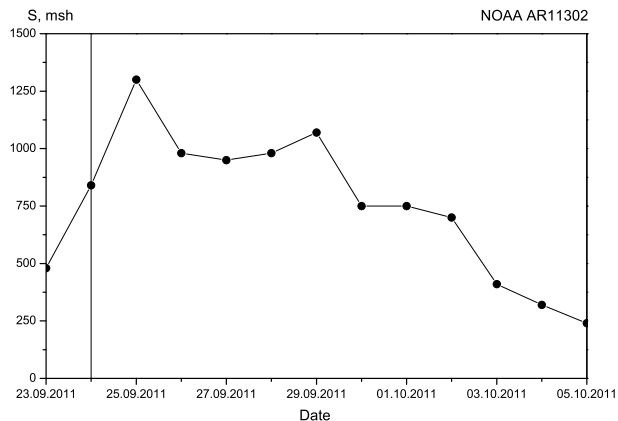


Рис. 4. График изменения общей площади группы AR11302, отображающий динамику ее развития. Вертикальная линия на графике обозначает день, в который зафиксирована вторая вспышка класса X (24.09.2011)

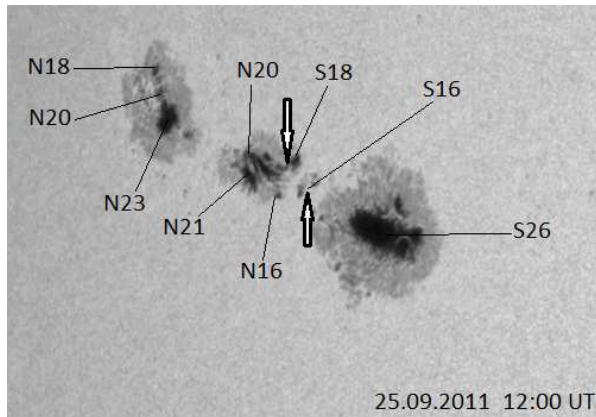


Рис. 5. Фотогелиограмма области NOAA AR11302 25.09.2012, отображающая сформированную δ -конфигурацию магнитного поля. Указаны полярности пятен и значения напряженности магнитного поля в них (в сотнях Гаусс). Стрелками указаны точки выхода новых магнитных потоков

раздела полярностей. Главной же особенностью области AR11429 является обращение полярностей. Так как область находится в северном полушарии, то она должна иметь ведущую S-полярность (в текущем цикле). В то же время по имеющимся данным, полученным со спутника SDO (магнитограммы), а также по результатам измерений магнитных полей пятен в Крымской астрофизической обсерватории и обсерватории Маунт-Вилсон, ведущей для данной области была N-полярность (см. рис. 6).

Вышеуказанные особенности области позволяют предположить, что она относится к типу I по классификации Зирин и Лиггетт, приведенной во вступлении. А это означает, что группа должна обладать очень высокой вспышечной активностью. Действительно, за период со 2 по 16 марта в данной области было зафиксировано 49 вспышек (рис. 7), из которых 14 имели рентгеновский класс M и 2 – класс X. Большинство из них (39 из 49 или 80 %) произошли в период со 2 по 8 марта, когда область достигла максимума своего развития (см. рис. 7).

Развитие же вспышек класса X в группе в 02:30 UT 05.03.2012 и 00:02 UT 07.03.2012 связано с появлением новых потоков в пределах компактной области и движением отдельных пятен, что видно на фотогелиограммах, представленных на рис. 6.

4.4 AR11748

Группа представляет значительный интерес, так как является источником четырех вспышек рентгеновского класса X: X1.7 13.05.2013, X2.8 13.05.2013, X3.2 14.05.2013 и X1.2 15.05.2013. Период видимости – с 14 по 26 мая 2013 года. Это означает, что получить полную информацию о начальных стадиях развития области и особенностях ее эволюции перед мощными вспышками не представляется возможным. Исходя из анализа изменения общей площади группы можно сказать, что в дни, когда были зафиксированы мощные вспышки, она находилась вблизи максимума своего развития (рис. 8). Фотогелиограмма области, которая была получена через 10 часов после последней из четырех вспышек класса X (рис. 9), отображает общий вид группы и наличие в головной ее части сформированной δ -конфигурации магнитного поля.

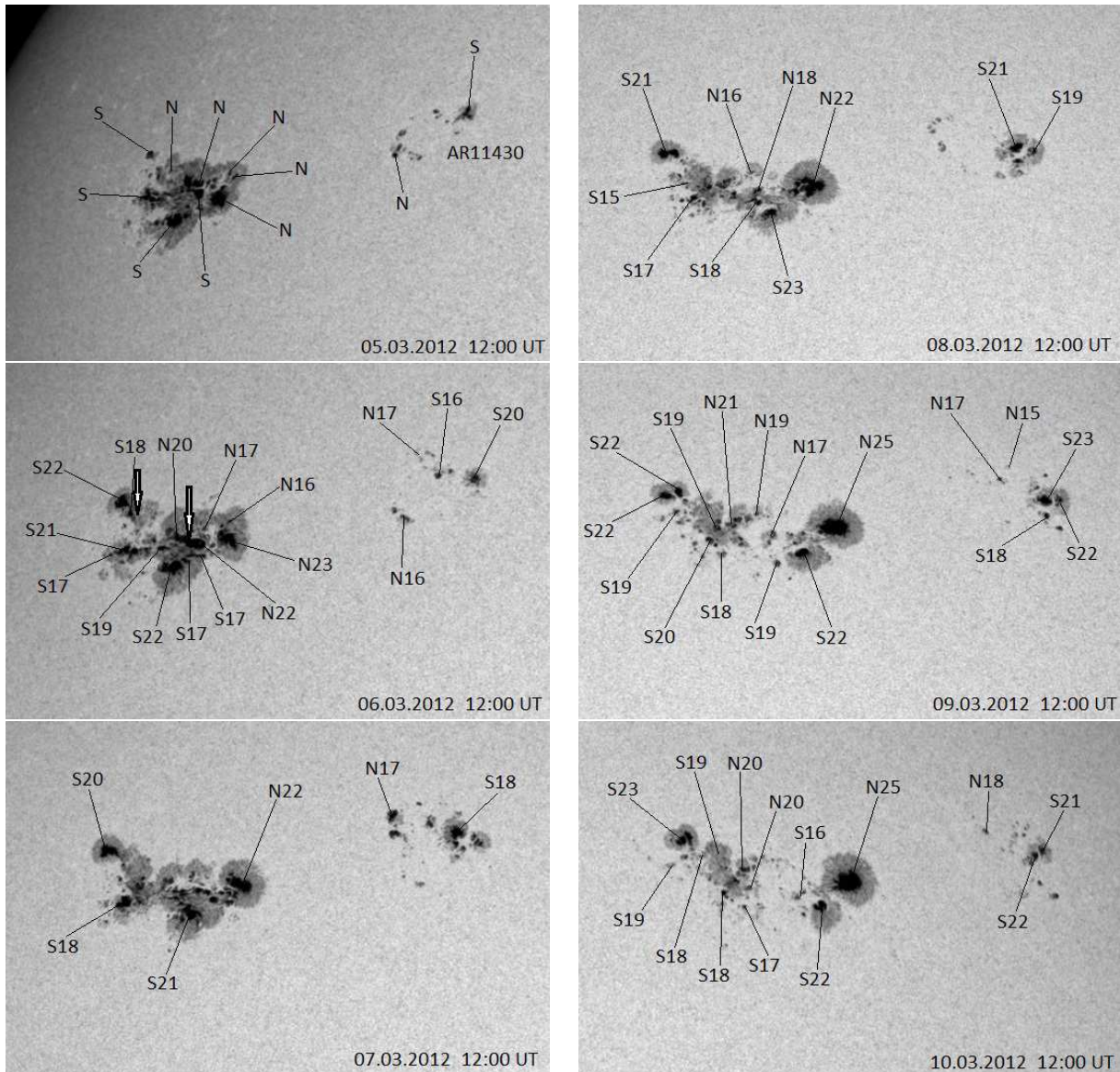


Рис. 6. Фотогелиограммы, отображающие динамику развития области AR11429 за период с 12:00 UT 05.03.2012 по 12:00 UT 10.03.2012 с интервалом 24 часа. Группа обладала аномальным для 24 цикла активностью распределением полярностей. Для сравнения указаны полярности пятен соседней группы AR11430

4.5 AR11875

На восточном лимбе AR11875 появилась 18 октября 2013 года как компактная биполярная область. 21 октября восточнее ведущих S-пятен образовалось пятно N-полярности (рис. 10) с напряженностью поля в 2200 Гс. В течение последующих суток формируется δ -конфигурация поля, возникают пятна S-полярности в хвостовой части области и поры N-полярности впереди лидеров (на фотогелиограмме от 22.10.2013, рис. 10, указаны стрелками). Несмотря на весьма сложную картину магнитного поля, вспышек класса X в этот период не зафиксировано.

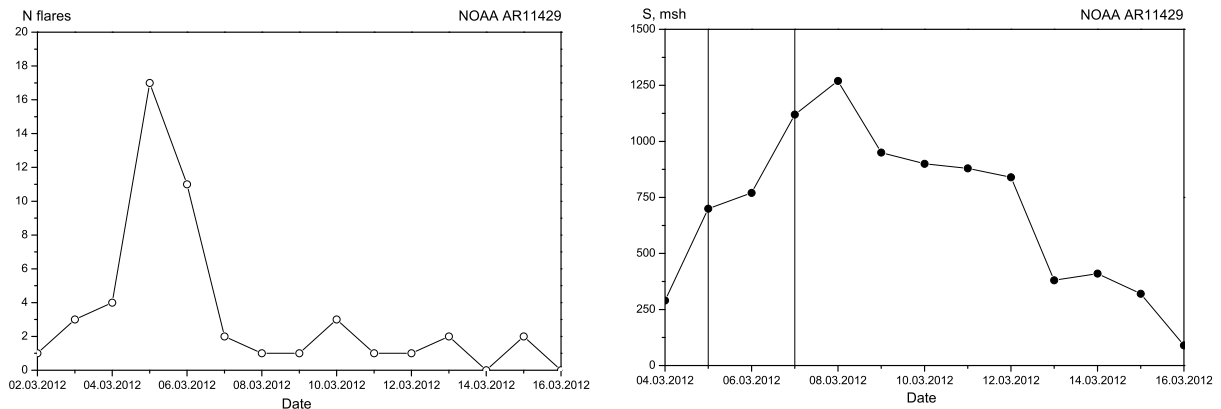


Рис. 7. График слева отображает ежедневное количество вспышек в группе AR11429 за период видимости, справа – изменение общей площади группы. Дни, в которые были зафиксированы вспышки класса X, отмечены вертикальными линиями на графике справа

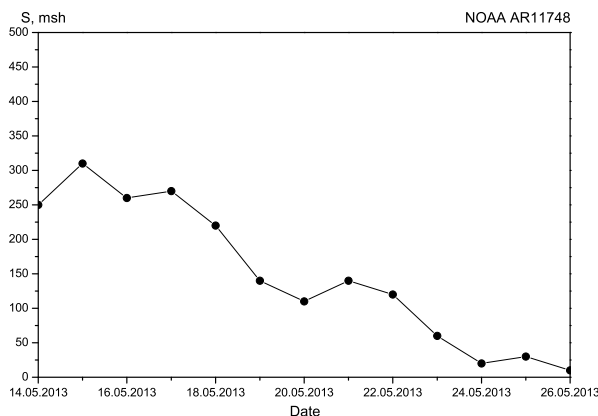


Рис. 8. График изменения общей площади группы AR11748, отображающий динамику ее развития

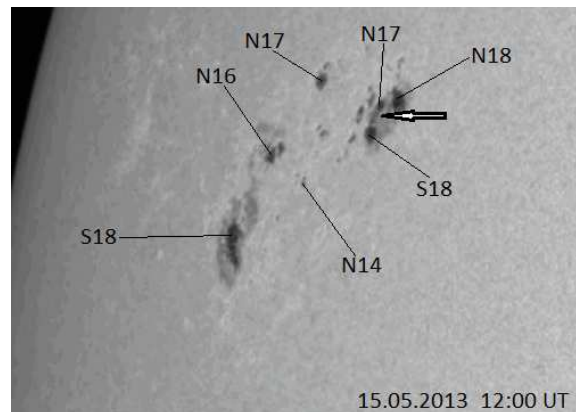


Рис. 9. Фотогелиограмма AR11748 15.05.2013 в максимуме развития, спустя 10 часов после последней из серии вспышек класса X. Указаны полярности пятен и значения напряженности магнитного поля в них (в сотнях Гаусс). Стрелкой указана δ -конфигурация магнитного поля в группе

К 27 октября картина магнитного поля несколько упрощается. Наиболее вспышечно опасными являются области севернее и западнее лидера группы, где наблюдаются пятна N-полярности и выходят новые потоки. Отследить ситуацию в активной области 28 и 29 октября, когда были зафиксированы вспышки класса X, не представляется возможным ввиду близости области к западному лимбу. Исходя из имеющихся данных, можно сказать лишь то, что вспышка 28.10.2013 произошла западнее лидера (протяженность группы по долготе 16 гелиографических градусов, координаты центра области N07W64, координаты вспышки – N05W72).

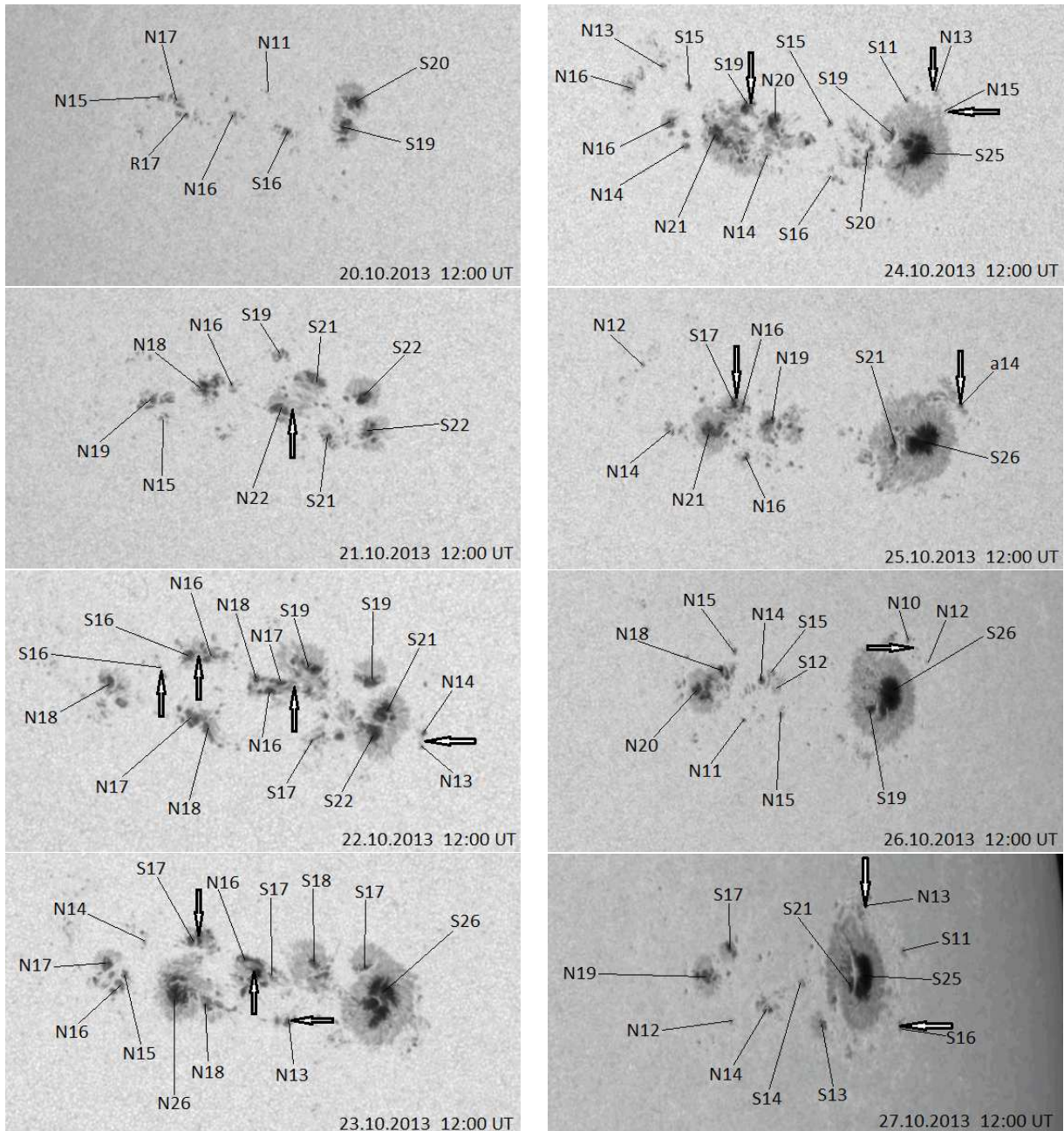


Рис. 10. Развитие области AR11875 с 20 по 27 октября 2013 года. Фотогелиограммы получены прибором HMI/SDO. Указаны напряженности магнитных полей в пятнах ($\times 100$ Гс) (по данным обсерватории Маунт-Вилсон и Крымской астрофизической обсерватории). Стрелками указаны области выхода новых потоков

4.6 AR11882

Активная область NOAA AR11882 появилась на видимой стороне Солнца 25 октября 2013 года. В первые дни видимости область обладала высокой всплещной активностью (в период с 25 октября по 29 октября она стала источником 25 всплещек, среди которых 12 – класса М и 2 – класса Х,

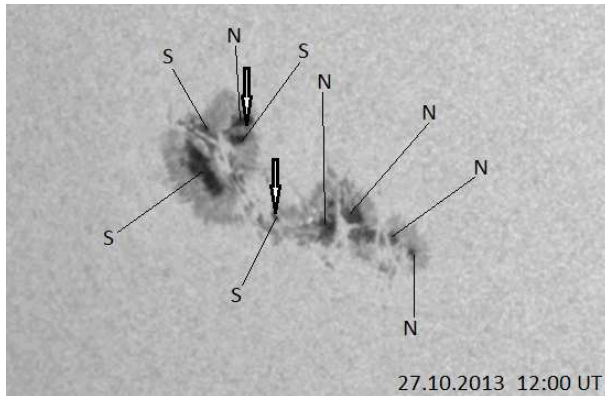


Рис. 11. Фотогелиограмма области NOAA AR11882 27.10.2013 12:00 UT вблизи максимума развития. Стрелками указаны области δ -конфигурации магнитного поля

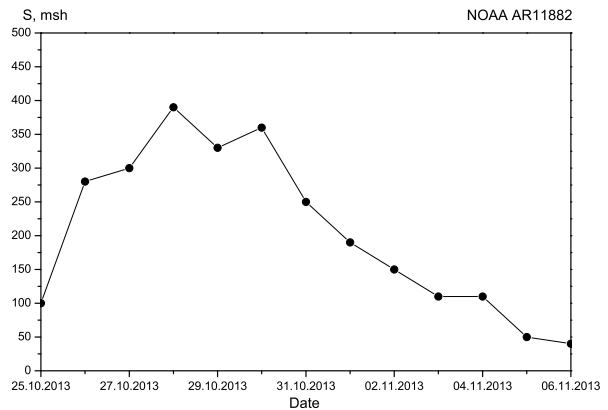


Рис. 12. Изменение общей площади пятен в области NOAA AR11882 за период с 25.10.2013 по 06.11.2013

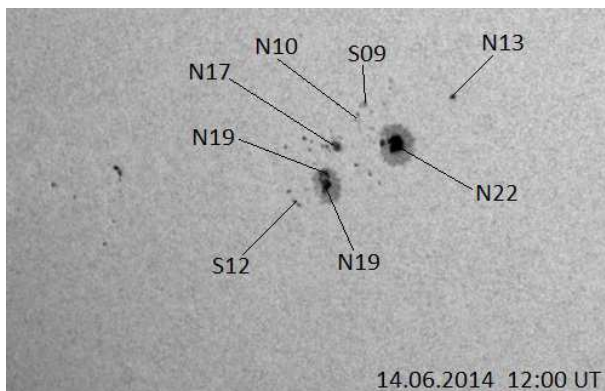


Рис. 13. Фотогелиограмма AR12087 в максимуме развития 14.06.2014 года. Указаны полярности пятен и значения напряженности магнитного поля в них (в сотнях Гаусс)

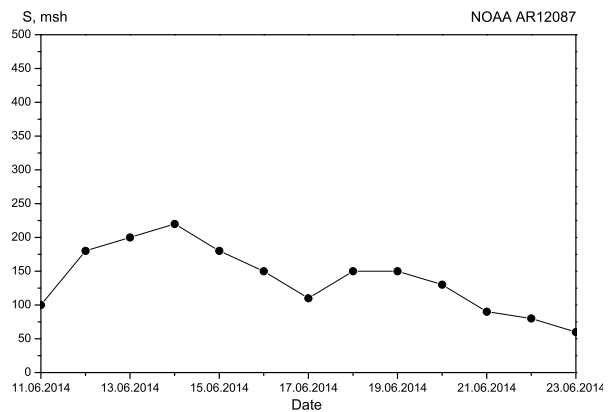


Рис. 14. Изменения общей площади группы AR12087 за период видимости

которые зарегистрированы спутником GOES-15 25 октября 2013 года с интервалом в 7 часов). δ -конфигурация (рис. 11) сформировалась 25–26 октября и существовала до 29 октября включительно, после чего область перешла на нисходящую ветвь своего развития, о чем можно судить по динамике изменения общей площади пятен группы (рис. 12).

4.7 AR12087

Период видимости – с 11 по 23 июня 2014 года. В максимуме развития общая площадь пятен достигла значения 220 м. д. п., а их количество – 27 (рис. 13), что говорит о том, что область состояла преимущественно из небольших пятен. Вспышки класса X наблюдались 10 и 11 июня 2014 года. Особенности магнитной конфигурации и динамики группы перед мощными вспышками определить

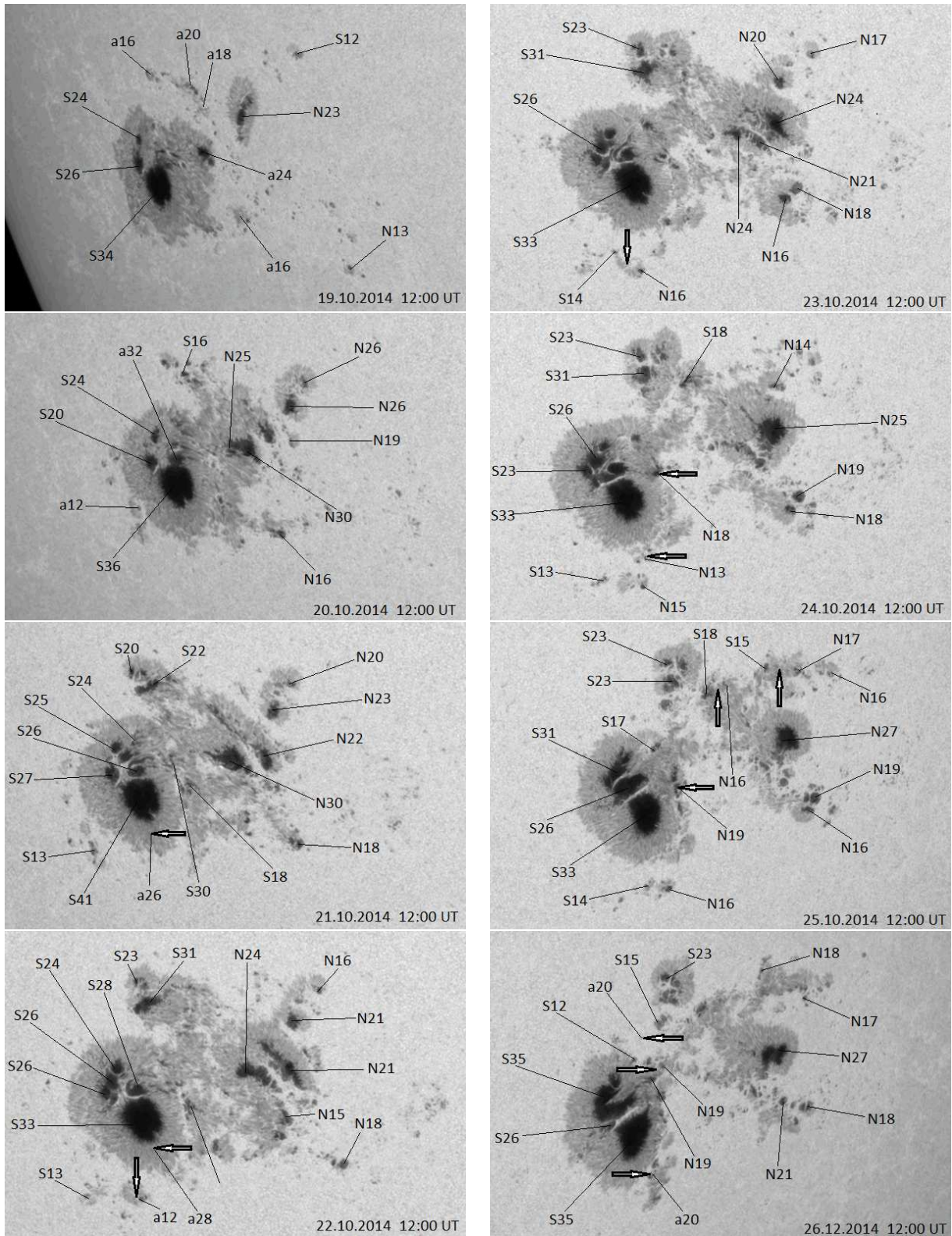


Рис. 15. Развитие области AR12192 с 18 по 31 октября 2014 года. Данные HMI/SDO. Указаны напряженности магнитных полей в пятнах (в сотнях Гаусс) по данным обсерватории Маунт-Вилсон и Крымской астрофизической обсерватории. Стрелками указаны области выхода новых потоков

невозможно, так как группа находилась вблизи восточного лимба. Динамика изменения общей площади области представлена на рис. 14.

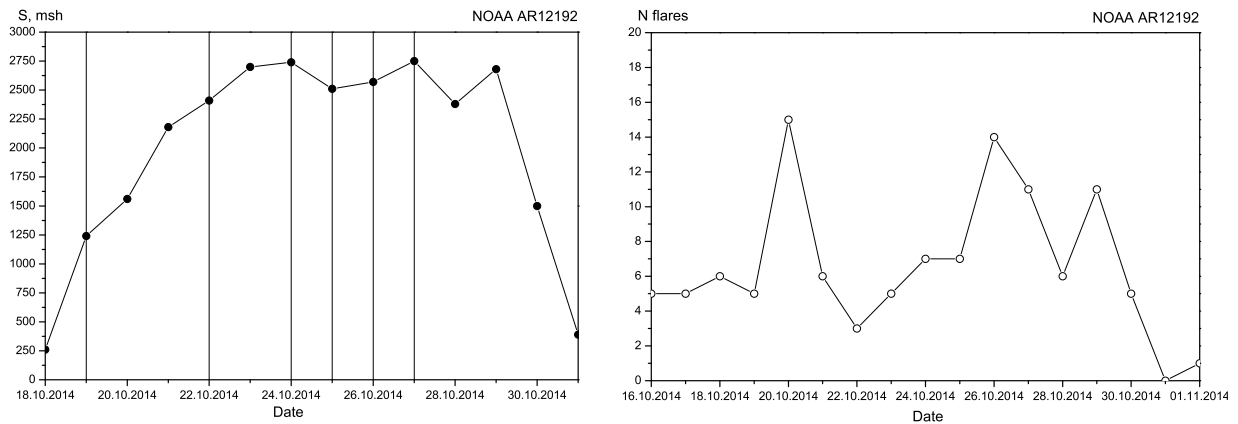


Рис. 16. График слева показывает изменение общей площади пятен в области AR12192 за период с 18 по 31 октября 2014 года, график справа – ежедневное количество вспышек в группе. Вертикальные линии на графике слева отображают дни, в которые были зафиксированы вспышки рентгеновского класса X

4.8 AR12192

AR12192 (рис. 15) является наиболее крупной активной областью с момента начала 24 цикла активности Солнца. В максимуме развития (рис. 16) общая площадь пятен группы достигала 2750 м. д. п. Область обладала высокой вспышечной активностью (за период с 16.10.2014 по 01.11.2014 в области зафиксировано 112 вспышек (рис. 16), 32 из которых имели класс M, а 6 – класс X). Активность группы обусловлена ее компактностью, наличием крупных пятен с сильными магнитными полями (до 4100 Гс), быстрым формированием δ -конфигурации и постоянным выходом с 22 октября новых N-потоков (на фотогелиограммах рис. 15 указаны стрелками) в непосредственной близости от хвостовых пятен S-полярности.

5 Выводы

На основании изложенного в работе материала можно сделать следующие выводы:

1. За период с января 2009 года по ноябрь 2014 года (включительно) зафиксировано 37 вспышек рентгеновского класса X в 25 активных областях.
2. Более 90 % вспышек класса X (34 из 37) произошли в областях с δ -конфигурацией магнитного поля.
3. Лишь в 24 % случаев в δ -группе наблюдался мощный вспышечный процесс (с начала 24 цикла активности Солнца δ -конфигурация наблюдалась в 91 активной области; вспышки класса X произошли в 22 из них). Подобные результаты получены китайскими исследователями при изучении вспышек класса X в δ -группах 22 цикла активности Солнца за период около 6 лет.
4. В 8 активных областях с δ -конфигурацией магнитного поля наблюдалось по две и более вспышки класса X. Наиболее продуктивной с начала 24 цикла была область NOAA AR12192 (октябрь 2014 года), в которой зафиксировано 6 мощных вспышек.

5. Формирование δ -конфигурации в группе пятен происходит одним из двух путей: выходом на поверхность закрученного магнитного жгута (примерами таких областей являются AR11429, AR12192) или же путем слияния двух близко расположенных биполярных групп (AR11158).
6. Особый интерес представляет область NOAA AR11429, наблюдавшаяся в марте 2012 года. В группе зафиксировано аномальное распределение магнитных полей: N-полярность, которая в северном полушарии в текущем цикле активности должна быть хвостовой, наблюдалась в западных (ведущих) пятнах области, а S-полярность – в хвостовых. Кроме этого, группа на начальных этапах развития была очень компактной.
7. Факторами, которые сыграли решающую роль в развитии мощных вспышек в исследуемых группах, были следующие:
 - выход новых магнитных потоков противоположной полярности вблизи основных, наиболее развитых, пятен группы;
 - формирование компактной δ -конфигурации магнитного поля в группе на самой начальной стадии ее развития;
 - компактность активной области (относительно небольшая долготная протяженность при достаточно большой общей площади группы);
 - относительно небольшой возраст (не более 12–15 суток) активной области (подавляющее большинство вспышек класса X зафиксировано на восходящей ветви развития группы вблизи максимума ее развития);
 - высокие градиенты магнитных полей и большой наклон ЛРП (или ее участка) к меридиану.

Необходимо заметить, что количественные измерения градиентов магнитных полей в рамках данной работы не выполнялись. Выводы о высоких градиентах магнитного поля в активных областях делаются на основании анализа фотогелиограмм и магнитограмм исследуемых групп пятен в взаимном расположении ядер противоположной полярности в каждой из групп.

Отметим также, что существует очень много параметров, которые влияют на вспышечную активность группы и позволяют спрогнозировать место возникновения и приблизительную мощность вспышечного процесса. Они были детально рассмотрены в работах еще 70–90-х годов XX века. В данной работе указываются лишь те из них, которые связаны с морфологией и магнитной структурой активных областей текущего цикла активности Солнца. Отметим также, что определить точное время начала вспышки (третий из необходимых параметров) намного сложнее, чем ее локализацию или мощность.

6 Благодарности

Автор статьи выражает искреннюю благодарность сотрудникам ЛФС А.Н. Бабину, А.Н. Коваль и Н.Н. Степанян за консультации и полезные замечания по работе; наблюдателям телескопа БСТ-2 Крымской астрофизической обсерватории и наблюдателям обсерватории Маунт-Вилсон за качественную работу по измерению магнитных полей пятен; инженерам и конструкторам космического аппарата SDO, а также разработчикам сайтов helioviewer.org, sdo.gsfc.nasa.gov, www.lmsal.com и tesis.lebedev.ru, которыми автор воспользовался для получения ряда необходимых данных.

Литература

- Бабин А.Н., Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2001. Т. 97. С. 54.
 Зирин, Лиггетт (Zirin H., Liggett M.) // Solar Phys. 1987. V. 113. P. 268.
 Зирин, Танака (Zirin H., Tanaka K.) // Solar Phys. 1973. V. 32. N. 1. P. 206.
 Коваль А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1974. Т. 51. С. 12.
 Коваль, Степанян (Koval A.N., Stepanyan N.N.) // Pr. Astron. Observ. Scalnatom Plese. 1976. V. 6. P. 59.
 Северный А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1960. Т. 22. С. 12.

- Северный и др. (Severny A.B., Stepanyan N.N., Steshenko N.V.) // Solar-Terrestrial Prediction Proceedings. V. 1. Prediction group report. Boulder. Space Environment Laboratory. 1979. P. 72.
- Фурсяк Ю.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2013. Т. 109. № 4. С. 119.
- Хаутгаст, Слойтерс (Houtgast J., van Sluiter A.) // Bull. Astron. Instr. Netherl. 1948. V. 10. P. 325.
- Ши, Ванг (Shi Zh., Wang J.) // Solar Phys. 1994. V. 149. Issue 1. P. 105.