

УДК 523.95

Опыт радиогелиографического прогноза мощных солнечных вспышек

Г.Я. Смольков¹, В.П. Максимов¹, Д.В. Просовецкий¹, А.М. Уралов¹, И.А. Бакунина²

¹ Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033, Российская Федерация, Иркутск
smolkov@iszf.irk.ru

² Научно-исследовательский радиофизический институт, Российская Федерация, Нижний Новгород

Поступила в редакцию 29 января 2010 г.

Аннотация. Кратко изложен опыт радиогелиографического прогноза мощных солнечных вспышек по распределению радиояркости и круговой поляризации микроволнового излучения активных областей.

THE EXPERIENCE OF THE RADIO-HELIOGRAPHIC PREDICTION OF POWER SOLAR FLARES, *by G. Ja. Smolkov, V. P. Maksimov, D. V. Prosovetskiy, A. M. Uralov, I. A. Bakunina.* The experience of the radio-heliographic prediction of power solar flares using the distribution of the intensity and the circular polarization of active regions microwave emission is briefly stated.

Ключевые слова: микроволновое излучение, прогноз мощных солнечных вспышек

На одном из Пленумов КИСО Астросовета АН СССР, проходившем в КрАО в начале 1960-х гг., А.Б. Северного спросили: “Почему оправдываемость Ваших прогнозов солнечных вспышек всего 73 %?” Он ответил: “Обеспечить выше в настоящее время мы не можем, а ниже – опасно, могут признать неспособным”. Исходными тогда были данные патруля градиентов магнитного поля у линии раздела полярностей поля в активных областях (АО) на уровне фотосферы и H α -патруля. Искусство прогноза было на грани интуиции: чувствовали, что вот-вот будет вспышка, но объяснить, почему она может произойти, могли не всегда. Недоставало сведений о том, что и как происходит при подготовке вспышек в короне АО. Несмотря на существенный прогресс магнитографии и радиогелиографии, наблюдений в X- и EUV-диапазонах орбитальными обсерваториями, удовлетворительное прогнозирование вспышек все еще не достигнуто. Необходимость круглосуточного мониторинга солнечной активности сохраняется до сих пор (Смольков и др., 2002, 2005).

Существующая практика прогноза вспышечной активности все еще слабо учитывает данные о микроволновом излучении, несущие важную информацию о структуре короны АО. Так, при детальном анализе структуры короны АО, производящих мощные рентгеновские вспышки, по данным ССРТ и NoRH были обнаружены квазистационарные источники над линией инверсии радиальной составляющей магнитного поля – Neutral Line associated Sources (NLS) – с яркостной температурой до 106 К и круговой поляризацией до 90 %. Рождение NLS сопряжено с выходом нового магнитного потока в атмосферу АО – классическим индикатором вспышечной активности. Физическая связь NLS с местами энерговыделения в короне АО подтверждена экспериментально на достаточно большом числе мощных вспышек. Поэтому NLS являются их предвестником, и их можно использовать как фактор прогноза. Излучение квазистационарных NLS сосредоточено в основаниях и вершинах

магнитных петель, соединяющих, например, два сближающихся солнечных пятна противоположной полярности. Микроволновое излучение мощных рентгеновских вспышек нередко стартует из этих петель (Уралов и др., 2007, 2008). NLS возобновляют свое существование, если сохраняются выход и движения сильных фотосферных магнитных полей; тогда возможны серии вспышек (например, каскад рентгеновских вспышек в октябре-ноябре 2003 г., декабре 2006 г.). Существенный вклад в излучение NLS вносит гирорезонансный механизм (Уралов и др., 2006, 2006а). Использование данных на 2-х частотах (ССРТ и NoRH) позволило выявить тонкий предвспышечный признак – смещение центров интенсивности и круговой поляризации, обусловленные визуальной трансформацией NLS в источник микроволнового излучения над пятном, или наоборот (Смольков и др., 2008).

Поляризованное микроволновое излучение АО в их предвспышечном состоянии обладает рядом характерных признаков, позволивших выявить радиогелиографический критерий для краткосрочного прогноза их вспышечной продуктивности с довольно высокой степенью оправдываемости (Максимов и др., 1988, 1990а,б, 1996). Для учета особенностей генерации и распространения излучения в короне АО на видимой стороне Солнца выделяются (I-II-III-II-I)-долготные зоны с характерным для каждой зоны “нормальным” (обусловленным только условиями распространения радиоизлучения в магнитосфере “спокойной” АО) распределением поляризации (S-униполярное для зоны II и E-биполярное для зоны III). Границы зон определяются по результатам статистического исследования появления (исчезновения) поляризованного компонента микроволнового излучения при восходе (заходе) не вспышечных АО из-за лимба и явления смены знака поляризации. Границы зон являются индивидуальными для каждой АО и зависят от гелиографических координат, протяженности, угла наклона оси группы пятен к экватору, магнитного класса АО. Границы зон – функция угла между направлением поля в области генерации излучения и лучом зрения. Все эти факторы учтены в эмпирических формулах. Отклонения от “нормального” распределения поляризации – признак подготовки вспышки (S-конфигурация для униполярных АО во всех долготных зонах всегда невспышечноопасна, мультиполярная P-конфигурация вспышечноопасна во всех долготных зонах). Оценки вспышечной продуктивности АО для всех вспышек, для вспышек балла 1N и вспышек балла >1B в долготных зонах II и III показали: а) наибольшая плотность вспышек в обеих зонах приходится на P-конфигурацию (в согласии с критерием Танака-Эноме); б) в зоне II вспышечная продуктивность E-конфигурации выше, чем S-конфигурации, а в зоне III, наоборот, вспышечная продуктивность S-конфигурации выше, чем E-конфигурации (в отличие от критерия Танака-Эноме). Причем этот эффект более выражен для мощных вспышек балла >1B; в) вспышки балла 1N, по-видимому, более или менее равновероятны как при E-, так при S-конфигурации.

Эффективность метода проверена сравнением с методом Танака-Эноме (Танака и др., 1975), предложенным для прогноза протонных вспышек с использованием меньшего углового разрешения. При достаточном числе событий оправдываемость прогноза для спокойных и возмущенных дней, вспышек балла 1N, 1B и 2B по предложенному нами критерию выше, чем по критерию Танака-Эноме, причем наиболее выражено это проявилось в зоне III. Способ применим не только в прилимовых областях (недоступных оптическим методам из-за эффектов проекции), он позволяет делать заключения и для АО за 1–2 дня до выхода (после захода) на видимую сторону Солнца, а также допускает автоматизацию оценки вероятности вспышек (Максимов и др., 2005).

Наряду с этим установлены другие признаки подготовки вспышек: возрастание потока излучения более 20 с. е. п. перед мощными вспышками, резкие изменения поведения излучательной способности АО, возрастание степени связи субвспышки в H α с микроволновым всплеском (Смольков и др., 2000). При параллельной регистрации спектра микроволнового излучения АО на РАТАНе обнаружены явления их уярчения, инверсии и понижения поляризации перед мощными вспышками (Богод и др., 2003).

По данным двух радиогелиографов, ССРТ и NoRH, выявлен двухчастотный критерий “нормальных” долготных зон, использующий положения метода прогнозирования вспышек на основе одночастотного критерия и сравнительного анализа явления смены знака круговой поляризации. Этот критерий, при использовании таблиц сопряженности и коэффициента успешности для прогнозирования уровня вспышечной активности, выше M1.0 для 20 вспышечнопродуктивных АО, более эффективен в сравнении со способом прогнозирования по поляризационному критерию Танака-Эноме

и одночастотным способом как для данных ССРТ (5.7 ГГц), так и для данных NoRH (17 ГГц). Он эффективнее в том, что улучшается прогноз отсутствия вспышки, уменьшается пропуск цели и растет коэффициент успешности (Бакунина, 2007а; Бакунина и др., 2007б, 2008). Этот способ успешно использован при диагностике АО 10930, в которой имели место долгоживущий NLS и ряд мощных вспышек (Смольков и др., 2008).

Перспективы дальнейшего развития радиогелиографической диагностики вспышечной продуктивности АО связаны с созданием солнечных радиотелескопов нового поколения (Бастиян и др., 1998; Смольков и др., 2000; Лесовой и др., 2004).

Работы поддержаны Сибирским отделением РАН, Программой фундаментальных исследований Президиума РАН № 30 “Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце – Земля”, Минобрнауки РФ (Уникальные установки: № 01-27 – ССРТ, НШ: 00-15-96710/НШ-477.2003.2//РИ-112/001/0-45), грантами РФФИ.

Литература

- Бакунина И.А. // Всероссийская конференция “Многоволновые исследования Солнца и современные проблемы солнечной активности”. СПбГУ: 2007а. С. 340.
- Бакунина И.А., Смольков Г.Я., Снегирев С.Д. // Труды ВАК-2007. 2007б. С. 192.
- Бакунина И.А., Смольков Г.Я., Снегирев С.Д. // Изв. ВУЗов. Радиофизика. 2008. Т. 61. №. 8. С. 641.
- Бастиян и др. (Bastian T.S., Gary D.E., White S.M. and Hurford G.J.) // Proc. SPIE. 1998. V. 3357. P. 609.
- Богод и др. (Bogod V.M., Tokhchukova S.Kh.) // Astronomy Lett. 2003. V. 29. P. 263.
- Гречнев и др. (Grechnev V.V., Lesovoi S.V., Smolkov G.Ya. et al) // Solar Phys. 1998. V. 183. P. 239.
- Лесовой и др. (Lesovoi S.V., Zandanov V.G., Smolkov G.Ya., Altyntsev A.T., Gubin A.V.) // Nobeyama Symposium “Solar Physics with the Nobeyama Radioheliograph”.
<http://solar.nro.nao.ac.jp/meeting/nbsym04/>.
- Максимов В.П., Бакунина И.А., Нефедьев В.П., Смольков Г.Я. // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. М.: Наука. 1988. Вып. 83. С. 111.
- Максимов В.П., Бакунина И.А., Нефедьев В.П., Смольков Г.Я. // Бюллетень изобретений. 1996. №. 216. С. 131. Патент № 2114449 от 27.06.1998 г.
- Максимов и др. (Maksimov V.P., Nefedyev V.P., Smolkov G.Ya., Bakunina I.A.) // Solar-Terrestrial Predictions/ Eds. R. Thompson et. al. Boulder: NOAA. 1990a. V. 1. P. 526.
- Максимов и др. (Maksimov V.P., Nefedyev V.P., Smolkov G.Ya., Bakunina I.A.) // Proc. of Symp. On Nobeyama Radioheliograph – A New Tool for Understanding of Solar Flares/ Ed. M. Masaki. Nobeyama: NRO. 1990b. P. 165.
- Максимов и др. (Maksimov V., Prosovetsky D.) // Chin. J. Space Sci. 2005. V. 25. №. 5. P. 329.
- Смольков Г.Я., Фомичев В.В., Снегирев С.Д. // Солнечно-земная физика. Изд-во СО РАН. 2002. Вып. 2. С. 31.
- Смольков Г.Я., Алтынцев А.Т., Гречнев В.В. и др. // Всероссийская конференция “Экспериментальные и теоретические исследования основ прогнозирования гелиогеофизической активности”. ИЗМИРАН. 2005. С. 293.
- Смольков Г.Я., Уралов А.М., Бакунина И.А. // Тр. межд. симпоз. “Международный гелиогеофизический год – Новый взгляд на солнечно-земную физику”. Солнечно-земная физика. Изд-во СО РАН. 2008. Вып. 12. Т. 1. С. 40.
- Смольков и др. (Smolkov G.Ya., Maksimov V.P., Uralov A.M.) // Adv. Space Res. 2000. V. 26. P. 193.
- Смольков и др. (Smolkov G.Ya., Altyntsev A.T., Zandanov V.G.) // Proc. of SPIE. 2000. V. 4015. P. 197.
- Смольков (Smolkov G.Ya.) // Chinese J. Space Weather. Special Issue of China-Russia Joint Research on Space Weather. 2005. V. 25. №. 5. P. 338.
- Танака (Tanaka H., Enome Sh.) // Solar Phys. 1975. V. 40. P. 123.

- Уралов А.М., Руденко Г.В., Руденко И.Г. // Микроволновые источники над нейтральной линией: рождение, связь со вспышками и проекционный эффект. Известия РАН. Серия физическая. 2006b. Т. 70. №. 10. С. 1475.
- Уралов А.М., Руденко Г.В., Гречнев В.В., Руденко И.Г., Х. Накаджима, К. Шибасаки // Всероссийская конференция “Многоволновые исследования Солнца и современные проблемы солнечной активности”. СПбГУ: 2007а. С. 484.
- Уралов и др. (Uralov A.M., Rudenko G.V., Rudenko I.G.) // 17GHz Neutral Line Associated Sources: Birth, Motion, and Projection Effect. Publications of the Astronomical Society of Japan. 2006a. V. 58. №. 1. P. 21.
- Уралов и др. (Uralov A.M., Grechnev V.V., Rudenko G.V., Rudenko I.G., Nakajima H.) // Microwave Neutral Line Associated Source and a Current Sheet. Solar Physics. 2008. V. 249. Issue 2. P. 315.