Министерство образования и науки Российской Федерации

Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского

# Труды
# XXIII научной конференции
# по радиофизике,
# посвященной 100-летию
# со дня рождения Н.А. Железцова

(*Нижний Новгород, 13-21 мая 2019 г.*)

Нижний Новгород
2019

УДК 537.86 + 621.3
ББК 3841
Т-78

**Труды XXIII научной конференции по радиофизике, посвященной 100-летию со дня рождения Н.А. Железцова** (Нижний Новгород, 13-21 мая 2019 г.). Нижний Новгород: ННГУ, 2019. – 581 с.

Редколлегия:
В.В. Матросов (отв. ред.), С.В. Оболенский (зам. отв. ред.), Г.А. Баженова (отв. секр.), М.И. Бакунов, С.А. Бельков, В.Г. Гавриленко, С.Н. Гурбатов, А.А. Дубков, Е.С. Фитасов, А.В. Кудрин, А.А. Мальцев, Л.Ю. Ротков, А.Л. Умнов

В сборник включены материалы докладов 23-ой Конференции по радиофизике, проходившей 13-21 мая 2019 года на радиофизическом факультете Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (ННГУ). Тематика докладов охватывает основные научные направления, развиваемые на факультете. Работы выполнены сотрудниками, аспирантами и студентами ННГУ, а также сотрудниками научно-исследовательских институтов и высокотехнологичных предприятий Нижнего Новгорода. Издаётся по решению Ученого Совета радиофизического факультета ННГУ в рамках реализации Программы развития ННГУ как национального исследовательского университета и Программы повышения конкурентоспособности университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров (Проект 5-100).

ББК 3841

© Национальный исследовательский
Нижегородский госуниверситет
им. Н.И. Лобачевского, 2019

# АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ ПО ЕЁ ГЕОМАГНИТНЫМ ПРЕДВЕСТНИКАМ НА ПРИМЕРЕ СОБЫТИЯ 06.09.2017

**Е.А. Ревунова[1], О.М. Бархатова[1], Н.А. Бархатов[2], С.Е. Ревунов[2], Н.В. Косолапова[2]**

*[1] ННГАСУ*
*[2] НГПУ им. К. Минина*

Эффективность разработанного нами ранее алгоритма прогноза экстремальных солнечных вспышек по их геомагнитным предвестникам проверена на примере самой крупной за последние несколько лет солнечной вспышке 06.09.2017. Алгоритм заключается в сопоставлении суммарных гистограмм нормированного количества моментов синхронизации колебаний длиннопериодных пульсаций горизонтальной составляющей геомагнитного поля с событиями экстремальных солнечных вспышек в интервалы им предшествующие. Результатом действия алгоритма являются обнаруживаемые за несколько суток до развития интенсивной вспышки на Солнце экстремумы гистограмм, которые рассматриваются как предвестники конкретной вспышки. Выполненное исследование подтверждает возможность использование предложенного нами ранее алгоритма для краткосрочного прогноза солнечной вспышечной активности.

## *1. Предпосылки исследования и отбор данных*

Разработка алгоритма прогноза экстремальных солнечных вспышек по их геомагнитным предвестникам [1], который оказался успешным для краткосрочного прогноза солнечной вспышечной активности, была вызвана исследованиями [2, 3], продемонстрировавшими связь длиннопериодных геомагнитных пульсаций с возникновением солнечных вспышек за несколько дней до этих пульсаций. Наше исследование [1], выполненное на значительном материале, включающем экспериментальные данные по 20 экстремальным рентгеновским вспышкам мощности X ($W>10^{-4}$ Вт/м$^2$), выполнено с помощью оригинального метода, основанного на вейвлет-анализе геомагнитных пульсаций разных масштабов в течение пятидневного интервала, предшествующего каждой вспышке. Основными критериями отбора анализируемых событий были: 1) все анализируемые вспышки относились к экстремальному классу; 2) в течение пятидневного интервала наблюдений отсутствовали геомагнитные возмущения типа бурь ($|Dst|<100$нТл), удовлетворяющих на этом интервале причинно-следственным связям с такими вспышками. Особенностью нашей обработки данных является использование вейвлет-скелетонной техники, позволяющей максимально устранить неопределенность при интерпретации результатов и свести выводы исследования к численным результатам. Таким образом установлена возможность использования фактов синхронизации получаемых скелетонов в качестве предвестников возникновения мощных солнечных вспышек.

### *2. Алгоритм сравнительного анализа скелетонных спектров*

Подробности алгоритма приведены в статье [1]. Показано, что близость вейвлет-скелетонных спектров на разных обсерваториях в конкретные моменты времени свидетельствует об установлении общего гармонического режима и, как результата, синхронизации колебаний горизонтальной составляющей геомагнитного поля на значительном географическом пространстве. Такие ситуации могут возникать для рассматриваемых периодов только под действием внешних факторов: электромагнитного или плазменного возмущений. Однако известно, что действие ультрафиолетового или рентгеновского солнечного излучения может изменять ионосферную проводимость и тем самым усиливать геомагнитные колебания.

Полученные суммарные гистограммы нормированного количества моментов синхронизации колебаний горизонтальной компоненты геомагнитного поля в широких географических пределах в разных диапазонах периодов своими экстремумами демонстрируют связь с опережающими явлениями рентгеновских вспышек. Суммарные гистограммы колебаний для периодов 28-38 минут и 68-88 минут имеют заметные экстремумы приблизительно за 2 дня до вспышки, что позволяют сделать вывод о ее приближении. На рис. 1. приведены примеры суммарных гистограмм нормированного количества моментов синхронизации колебаний на всех анализируемых станциях по всем анализируемым в [1] 20 вспышкам в диапазоне периодов 28-38 мин (а), 68-88 мин (б). Ось ординат гистограмм отражает количество появлений 100% моментов синхронизации колебаний на всех станциях. По оси абсцисс представлено время в днях до вспышки класса X. Момент регистрации вспышки в начале координат.

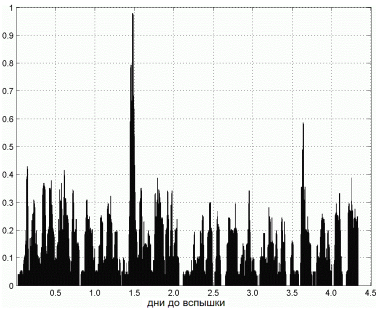


Рис. 1а

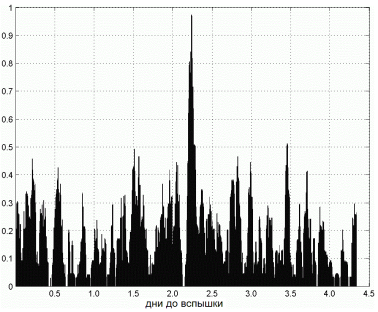


Рис. 1б

В ряде работ и ссылках в них [2, 3] указанные периоды (~30 мин и ~80 мин) регистрируются в параметрах потока солнечного ветра и его обособленных структурах. Отметим, что выявленные периоды колебаний горизонтальной составляющей геомагнитного поля, предшествующие вспышкам, близки к длиннопериодным колебаниям в активных областях Солнца [2]. Для проверки возможности электромагнитного воздействия солнечной радиации на параметры околоземного космического пространства были вычислены суммарные гистограммы моментов полной синхронизации колебаний

в параметрах солнечного ветра и ММП (скорость потока, плотность, магнитуда ММП). Как показал анализ этих гистограмм, экстремумов во всем анализируемом диапазоне периодов от 2 до 240 минут они не имеют. Это означает, что колебания параметров солнечного ветра не синхронизованы. Наличие колебаний в указанных периодах отражает собственные колебания плазменных структур, напрямую не связанных с приближением момента вспышки [3].

Дополнительно в [1] была выполнена проверка объективности полученных результатов при анализе 20 пятидневных интервалов в 2001-2005 гг., в течение которых не наблюдались солнечные вспышки классов M или X. Для этого в исследовании по предлагаемой методике для всех анализируемых невозмущенных интервалов и для каждого анализируемого масштаба колебаний были вычислены гистограммы распределения интенсивности группировок моментов 100% синхронизации регистрируемых колебаний на магнитных обсерваториях. Анализ показал, что ранее обнаруживаемые экстремумы (см. рис. 1а, б) здесь не отмечаются, что косвенно подтверждает валидность разрабатываемого в исследовании метода.

### *3. Демонстрация работы алгоритма на примере события 06.09.2017*

Апробация алгоритма выполнена на примере самой крупной за последние несколько лет солнечной вспышки. В последний раз радиоизлучение сопоставимой мощности наблюдалось 7 сентября 2005 г. Всего в период с 04.09.2017 до 06.09.2017 было зарегистрировано 7 вспышек класса C (слабые) и M (средние). По данным лаборатории рентгеновской астрономии Солнца Физического института им. Лебедева РАН (ФИАН) вспышке 06.09.2017 был присвоен балл X9.3, ей предшествовала более слабая вспышка класса X2.2. Произошедшая вспышка предполагает, что в это время эволюционировал рекордный выброс коронального вещества. Считается, что к наблюдаемому мощному радиоизлучению привело взаимодействие двух крупнейших групп пятен, которые наблюдались на Солнце в течение нескольких дней до анализируемой вспышки. Кроме того, особенностью данного случая мощной вспышки является то, что она произошла на фоне минимальной солнечной активности.

Для поиска предвестников экстремальной вспышки использовались данные горизонтальной компоненты геомагнитного поля с минутным разрешением по тем же пяти обсерваториям, которые использованы в работе [1]. Согласно алгоритму, подробно изложенному в [1], были получены суммарные гистограммы нормированного количества моментов синхронизации колебаний на всех анализируемых геомагнитных обсерваториях. На рис. 2. Показаны суммарные гистограммы нормированного количества моментов синхронизации колебаний на всех анализируемых геомагнитных обсерваториях для вспышки класса X9.3, зарегистрированной 06.09.2017. Обнаружен предвестник события за ~4 дня (колебания с периодами 50-60 мин (а)) и за ~2 дня (колебания с периодами 45-50 мин (б)).

Анализ графиков на рис. 2 показал, что обнаруженные экстремумы в гистограммах соответствуют предвестникам вспышки класса X9.3. При этом попадающие в исследуемый интервал предвестники вспышек классов C и M никак не обнаруживаются. Таким образом, в работе показано, что экстремумы гистограмм для колебаний с периодом до 180 минут наиболее информативны – они отмечаются за ~2 и ~4 дня до экстремальной вспышки.

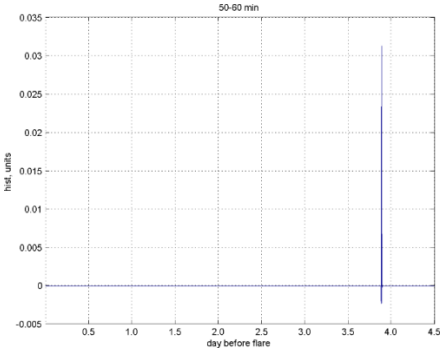


Рис. 2а

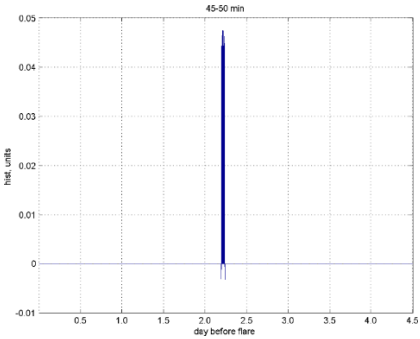


Рис. 2б

***4. Заключение***

Продемонстрирована работа созданного нами ранее в [1] алгоритма обнаружения экстремальных солнечных вспышек по их геомагнитным предвестникам на примере события солнечной вспышечной активности, зарегистрированного 06.09.2017. Обнаружен предвестник события за ~4 дня (колебания с периодами 50-60 мин) и за ~2 дня (колебания с периодами 15-30 мин, 45-50 мин). Согласно методике, для каждого анализируемого масштаба колебаний были вычислены гистограммы распределения интенсивности группировок моментов 100% синхронизации регистрируемых колебаний на магнитных обсерваториях, распределенных в широких географических пределах. Механизмом возникновения таких колебаний и их дальнейшей синхронизации может служить усиление ионосферных колебательных токовых систем, связанное с увеличением ионосферной проводимости под действием солнечного ионизирующего электромагнитного излучения, опережающего вспышку. Другим механизмом может быть непосредственное проявление колебаний интенсивности этого излучения в геомагнитных пульсациях начиная с периодов порядка и более часа, что можно связать с соответствующей инерционностью ионосферы [1].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-35-00430 (Бархатова О.М., Ревунова Е.А., Косолапова Н.В.) и Госзадания Минобрнауки РФ № 5.5898.2017/8.9 (Н.А. Бархатов, С.Е. Ревунов).

[1] Бархатов Н.А., Обридко В.Н., Ревунов С.Е., Снегирев С.Д., Шадруков Д.В., Шейнер О.А. // Геомагнетизм и аэрономия. 2016. Т. 56, № 2. С. 265.
[2] Быстров М.В., Кобрин М.М., Снегирев С.Д. // Письма в астрономический журнал. 1978. № 4. С. 143.
[3] Обридко В.Н., Шельтинг Б.Д. // Геомагнетизм и аэрономия. 1985. Т.25, № 6. С. 881.