

УДК 523.9-739:550.380.25:523.985-125

## УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СОЛНЦА КАК ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ПРЕДВСПЫШЕЧНЫХ ДОЛГОПЕРИОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

© 2013 г.

А.С. Смирнова, С.Д. Снегирев, О.А. Шейнер

Научно-исследовательский радиофизический институт, Н. Новгород

Alfiyaren@rambler.ru

Поступила в редакцию 22.05.2013

Исследованы вейвлет-спектры ультрафиолетового излучения Солнца накануне протонных вспышек. Проведено сопоставление предвспышечного поведения долгопериодных спектральных составляющих в спектре потока солнечного ультрафиолетового излучения и горизонтальной компоненты геомагнитного поля. Обнаружено соответствие поведения спектральных компонент с периодами 30–60 минут в наземных измерениях и в солнечном излучении за 3–1 день до наступления протонной вспышки.

*Ключевые слова:* ультрафиолетовое излучение Солнца, Н-компонента магнитного поля Земли, протонные вспышки, предвспышечные ситуации, вейвлет-анализ.

### Введение

В работах [1–6] сообщалось о наличии в наземных магнитных измерениях за 1–3 дня перед началом протонной вспышки долгопериодных (30–60 минут) колебаний. Эти колебания могут быть вызваны колебаниями токовых систем. Колебания ионосферных токов, в свою очередь, могут быть связаны с колебаниями электронной концентрации слоя E ионосферы.

Известно, что на высоты слоя E без заметного ослабления проникает солнечное излучение из двух крайних участков спектра ионизирующего излучения. Это рентгеновское излучение с длиной волны  $\lambda < 10$  нм и длинноволновое с  $\lambda > 91.1$  нм. При отсутствии солнечных вспышек вклад рентгеновского излучения в ионизацию E-области невелик (<20%), однако в периоды вспышек его относительный вклад возрастает и при мощных вспышках может превысить вклад от длинноволнового излучения [7]. Поскольку усиление колебаний-предвестников происходит накануне вспышек, то можно предположить, что вклад длинноволнового ультрафиолетового излучения в ионизацию слоя E ионосферы будет значимым. К тому же при наступлении сумерек (при больших зенитных углах Солнца) интенсивность длинноволнового ультрафиолетового излучения ослабевает значительно медленнее, чем интенсивность рентгеновского излучения [7], что также говорит о том, что ультрафиолетовое излучение может стать вероятным агентом, вызывающим усиление колебаний больших периодов Н-компоненты геомагнитного поля.

Таким образом, целью данной работы является исследование спектра потока ультрафиолетового солнечного излучения накануне протонных вспышек на предмет наличия колебаний – предвестников вспышек, а также сопоставление вейвлет-спектров длинноволнового ультрафиолетового излучения со спектрами горизонтальной компоненты магнитного поля Земли.

### Результаты и их обсуждение

Анализировались три уединенные протонные вспышки (см. табл.). События были выбраны так, чтобы исключить влияние различных посторонних факторов, способных исказить реальную картину.

Отбор проводился согласно следующим критериям:

1. Уединенность относительно других протонных событий. В течение как минимум недели до начала события не должно быть зафиксировано других протонных вспышек, чтобы можно было с уверенностью говорить о воздействии на Землю именно этого события.

2. Событие должно сопровождаться достаточно большим потоком протонов (рассматривались события с потоком, превышающим  $30 \text{ (см}^2 \times \text{с} \times \text{стер})}^{-1}$ ).

3. Отсутствие крупных событий геомагнитной активности за 3-1 день до события; в качестве критерия рассматривалось поведение индекса Dst: понижение уровня Dst ( $\text{Dst} \leq -30 \text{ нТ}$ ) считалось проявлением геомагнитной активности.

Таблица

Старт протонного события (дата, всемирное время)	Максимум протонного события (дата, всемирное время)	Поток протонов (с энергией > 10 МэВ) ( $\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{стер}^{-1}$ )	Максимум вспышки в рентгеновском диапазоне (дата, всемирное время)	Рентгеновский / оптический балл, расположение
26.11.2011, 11.25	27.11.2011, 01.25	80	26.11.2011, 07.10	N08W49
07.03.2012, 05.10	08.03.2012, 11.15	6530	07.03.2012, 00.24	N17E15
17.05.2012, 02.10	17.05.2012, 04.30	255	17.05.2012, 01.47	N12W89

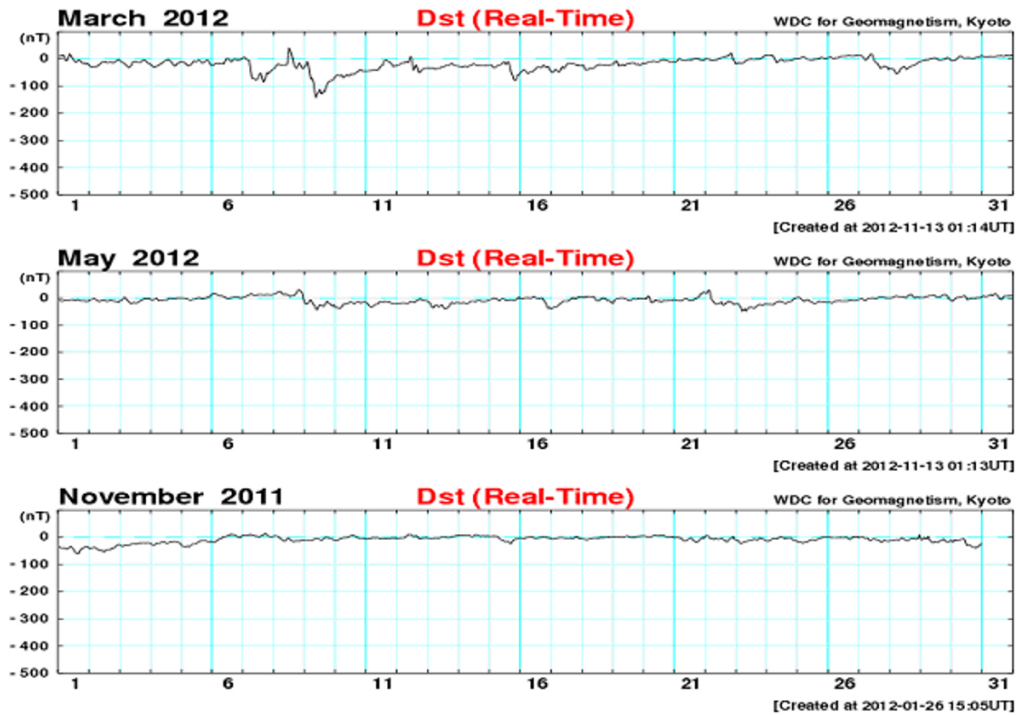


Рис. 1. Поведение индекса Dst за март 2012 года (верхняя панель), май 2012 года (средняя панель) и ноябрь 2011 года (нижняя панель)

На рис. 1 представлено поведение индекса Dst для рассмотренных событий. Магнитное поле накануне вспышек оставалось спокойным.

Данные о спектральном составе напряженности геомагнитного поля были получены на станции Sitka (SIT) [8]. Координаты станции:  $57.06^\circ$  с.ш.,  $135.33^\circ$  в.д.

Исследовались вейвлет-спектры Н-компоненты геомагнитного поля за дневной интервал по местному времени за 6 дней до вспышки. Полученные результаты сравнивались со спектрами ультрафиолетового излучения с длиной волны 115–127 нм, полученного с геостационарного спутника GOES 15 [9].

#### Событие 26.11.2011 г.

За 6–4 дня до вспышки среднесуточная мощность колебаний горизонтальной компоненты геомагнитного поля с периодами 30–60 минут находилась ниже уровня значимости. За 3 дня до вспышечного события обнаружены

колебания Н-компоненты геомагнитного поля с периодами 30–60 минут продолжительностью около 5 часов (9:30–14:45 LT). В промежутке времени с 10:30 до 12:15 LT наблюдались колебания с периодом 15–30 минут. Средняя за дневной интервал мощность колебаний с периодами 30–60 минут составила  $\sim 18 \text{ нТл}^2$ , с периодами 15–30 минут –  $\sim 6 \text{ нТл}^2$ . На следующий день (за 2 дня до вспышки) мощность колебаний с периодами 30–60 минут снова опускается ниже уровня значимости.

В спектре потока ультрафиолетового излучения Солнца за 6–4 дня до вспышки средняя дневная мощность колебаний с периодами 30–60 минут также лежит ниже уровня значимости. За 3 дня до вспышки значение мощности колебаний с периодами 30–60 минут увеличивается относительно значений за предыдущие 3 дня и составляет около  $1.2 \times 10^{-9} (\text{Вт}/\text{м}^2)^2$ . Колебания продолжаются около 3 часов (11:00–13:45 LT). На первый взгляд, колебания в магнитном поле Земли появляются раньше, однако если

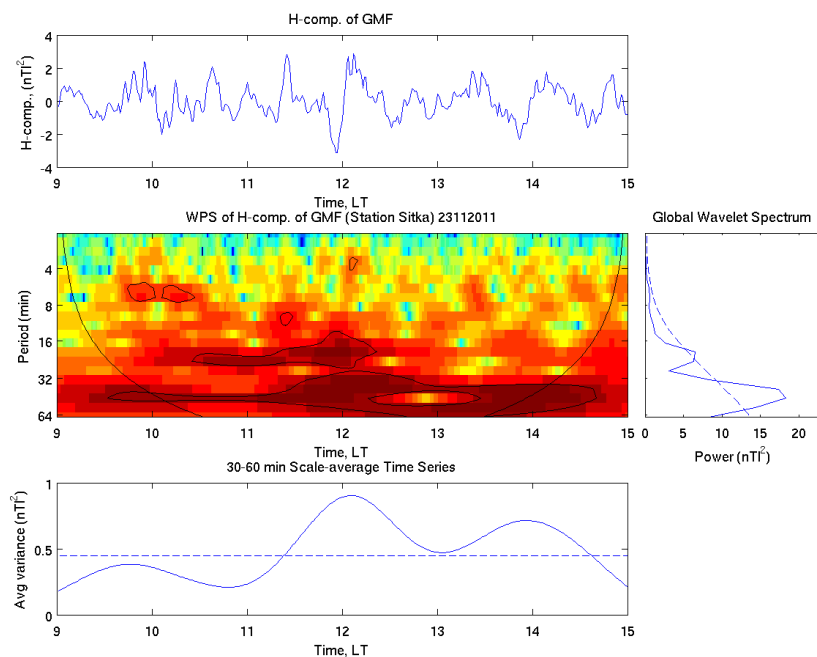


Рис. 2. Вейвлет-спектр горизонтальной компоненты геомагнитного поля за три дня до вспышки 26.11.2011 г.

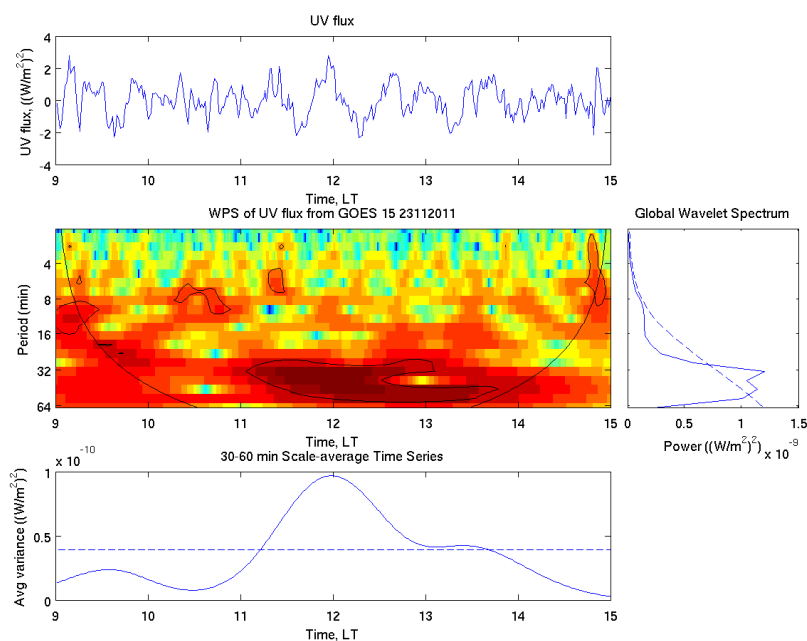


Рис. 3. Вейвлет-спектр потока ультрафиолетового излучения Солнца за три дня до вспышки 26.11.2011 г.

обратить внимание на значение мощности вейвлет-спектра, усредненной по интересующим нас периодам 30–60 минут, то можно заметить, что рост мощности колебаний этих периодов в ультрафиолетовом излучении начинается на несколько минут раньше. Два ярко выраженных максимума глобального вейвлет-спектра, наблюдаемые в спектре геомагнитного поля (~ 20 и 40 минут), здесь практически сливаются в один (~ 30 и 40 минут).

#### Событие 07.03.2012 г.

Накануне вспышки в вейвлет-спектре Н-компоненты магнитного поля Земли наблюдаются колебания ~15–65 минут продолжительностью около 4 часов (15:00–19:00 LT). Глобальный вейвлет-спектр имеет два выраженных максимума ~30 и 50 минут. За весь исследуемый интервал колебаний больших периодов со сравнимой продолжительностью не обнаружено. Средняя мощность за дневной интервал за

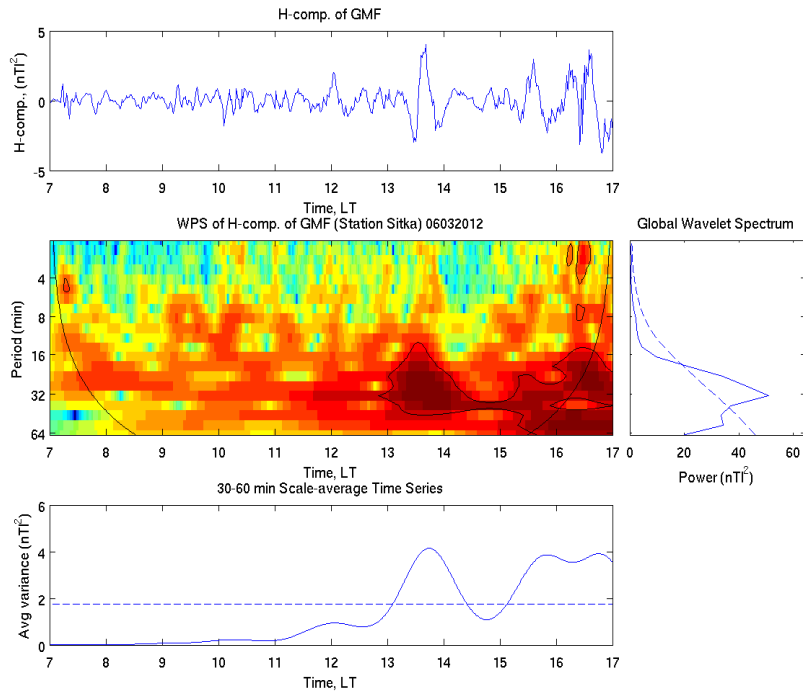


Рис. 4. Вейвлет-спектр горизонтальной компоненты геомагнитного поля за день до вспышки 07.03.2012 г.

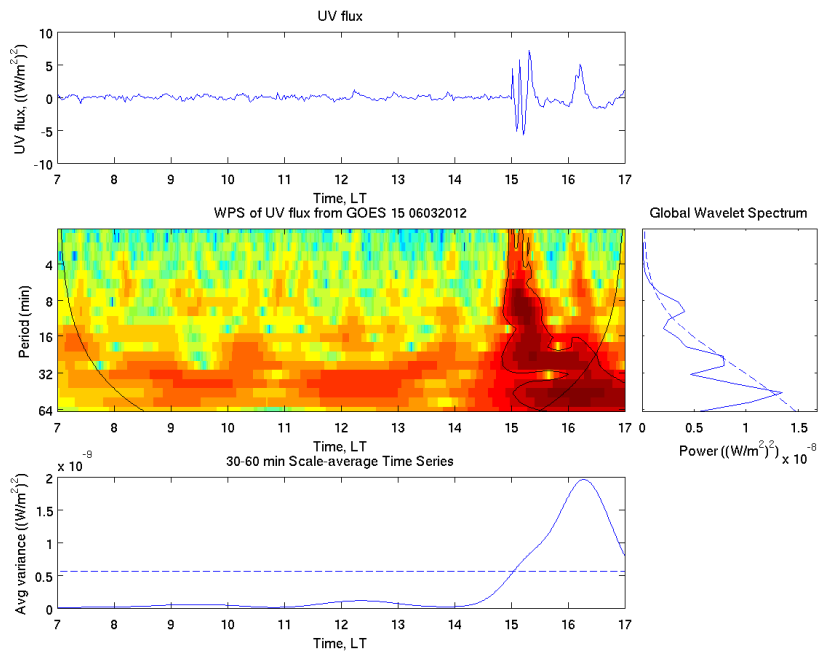


Рис. 5. Вейвлет-спектр потока ультрафиолетового излучения за день до вспышки 07.03.2012 г.

день до вспышки превышает среднюю мощность за предыдущие два дня.

В спектре потока ультрафиолетового излучения за день до вспышки наблюдаются колебания на всей исследуемой шкале периодов (2–65 минут). Средняя мощность колебаний за день существенно превышает мощность за все предыдущие исследуемые дни и достигает  $2.2 \times 10^{-8}$  (Вт/м<sup>2</sup>)<sup>2</sup>. Продолжительность колебаний с периодами 30–60 минут составляет ~ 3 часа (15:00–18:00 LT). Рост мощности вейв-

лет-составляющих, усредненной по периодам 30–60 минут, в ультрафиолетовом излучении начинается приблизительно на 15 минут раньше, чем в магнитном поле. В глобальном вейвлет-спектре наблюдается три максимума ~10, 20 и 40 минут.

*Событие 17.05.2012 г.*

За 2 дня до вспышечного события наблюдаются колебания горизонтальной компоненты магнитного поля Земли продолжительностью

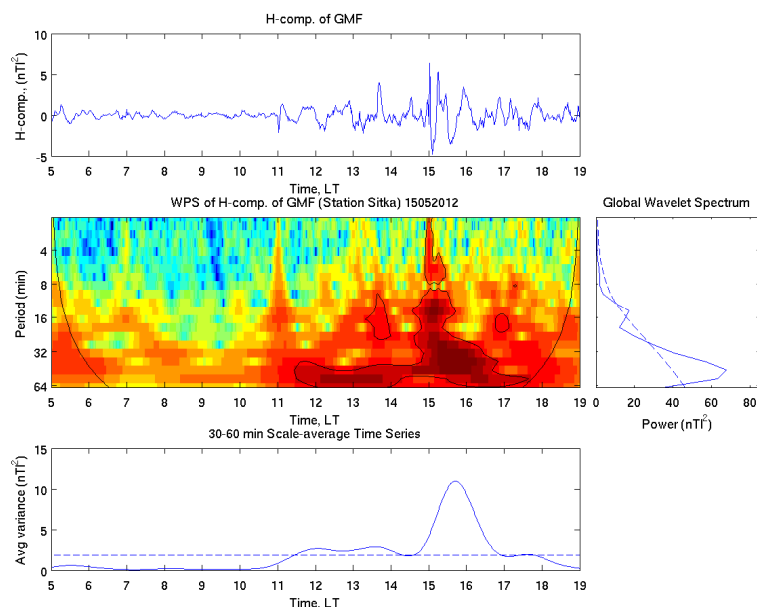


Рис. 6. Вейвлет-спектр горизонтальной компоненты геомагнитного поля за два дня до вспышки 17.05.2012 г.

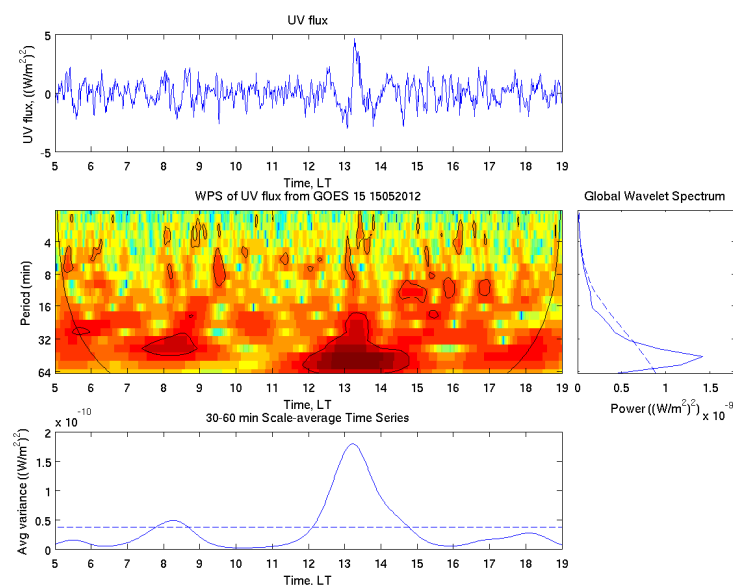


Рис. 7. Вейвлет-спектр потока ультрафиолетового излучения за два дня до вспышки 17.05.2012 г.

~ 6 часов (11:30–17:30 LT). Глобальный вейвлет-спектр имеет два максимума ~ 10 и 40 минут.

В спектре потока ультрафиолетового излучения за 2 дня до вспышки наблюдается рост средней мощности за дневной интервал по сравнению с предыдущими днями (до  $1.5 \times 10^{-9}$  (Вт/м<sup>2</sup>)<sup>2</sup>). Продолжительность колебаний составляет порядка 3 часов (12:00–15:00 LT). Глобальный вейвлет-спектр имеет один максимум на периоде ~ 40 минут. Если сравнить форму вейвлет-спектра, а также поведение кривой мощности, усредненной по периодам 30–60 минут, можно заметить, что максимум мощности в спектре потока ультрафиолетового излучения приходится приблизительно на 13:15 LT, тогда как в спектре геомагнитного поля на – 15:45 LT.

## Заключение

Таким образом, на основе изучения вейвлет-спектров ультрафиолетового излучения Солнца накануне протонных вспышек можно сделать вывод о наличии в спектре потока ультрафиолетового излучения Солнца в предвспышечные периоды долгопериодных (30–60 минут) колебаний (по данным о трех изолированных вспышечных событиях). Существование наземных предвестников крупных протонных вспышек также подтверждено на новом экспериментальном материале. Проведено сравнение спектров напряженности геомагнитного поля и потока солнечного ультрафиолетового излучения в периоды, предшествующие солнечным протон-

ным вспышкам, и обнаружено схожее поведение долгопериодных спектральных составляющих накануне исследуемых вспышек. В спектре горизонтальной компоненты геомагнитного поля предвспышечные колебания с периодами 30–60 минут продолжаются от 4 до 6 часов. В спектре потока ультрафиолетового излучения с небольшим опережением наблюдаются колебания тех же периодов. Продолжительность этих колебаний составляет около 3 часов. В двух случаях из трех в спектре геомагнитного поля наблюдается также рост мощности колебаний. В спектре ультрафиолетового излучения рост мощности наблюдается во всех исследованных случаях.

Выражаем глубокую признательность сотрудникам ИДГ РАН А.Н. Ляхову и Ю.А. Корсунской за квалифицированные консультации по вопросам использования данных об ультрафиолетовом излучении Солнца.

#### *Список литературы*

1. Быстров М.В., Кобрин М.М., Снегирев С.Д. // Письма в Астроном. журн. 1978. № 4. С. 143–144.
2. Быстров М.В., Кобрин М.М., Снегирев С.Д. // Геомагнетизм и аэрономия. 1979. Т. 2. С. 306.
3. Снегирев С.Д., Фридман В.М., Шейнер О.А. О флуктуациях магнитного поля Земли, предшествующих крупным солнечным вспышкам // В сб.: Солнечно-земная физика. Новосибирск: СО РАН, 2005. Вып. 8. С. 27–29.
4. Снегирев С.Д., Фридман В.М., Шейнер О.А., Мальцева Н.В. Рост долгопериодных пульсаций магнитного поля Земли в периоды, предшествующие мощным солнечным вспышкам // Труды Всерос. конф. «Экспериментальные и теоретические исследования основ прогнозирования гелиогеофизической активности». г. Троицк, 10–15 октября 2005 г. 2006. С. 305–310.
5. Смирнова А.С. // Вестник ННГУ. 2010. № 1. С. 79–95.
6. Смирнова А.С., Снегирев С.Д., Шейнер О.А. // Вестник ННГУ. 2011. № 5. С. 145–153.
7. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. 527 с.
8. <http://magweb.cr.usgs.gov/data/magnetometer/> (дата обращения 10.02.2013).
9. [http://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/new\\_full/](http://satdat.ngdc.noaa.gov/sem/goes/data/new_full/) (дата обращения 10.02.2013).

### **SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION AS A POSSIBLE CAUSE OF LONG-PERIOD PREFLARE FLUCTUATIONS OF THE HORIZONTAL COMPONENT OF THE GEOMAGNETIC FIELD**

*A.S. Smirnova, S.D. Snegirev, O.A. Sheiner*

Wavelet spectra of solar ultraviolet radiation before proton flares are studied and a comparison is carried out of the preflare behavior of long-period solar UV radiation spectral components and the H component of the geomagnetic field. Long-period (30–60 minutes) pulsations of the H component of the geomagnetic field according to ground-based measurements have been found to be in compliance with those of solar UV radiation spectral components 3–1 days before a proton flare.

*Keywords:* solar ultraviolet emission, H component of the geomagnetic field, proton flares, preflare situations, wavelet analysis.