

## ОЦЕНКА ИНДЕКСА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ F10.7 ПО ДАННЫМ МОЩНОСТИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА В ДИАПАЗОНЕ РЛС

**М.Ю. Филиппов, Н.А. Ходатаев**

АО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца», Москва, Россия  
mm.grif@gmail.com

## ESTIMATION OF THE SOLAR ACTIVITY INDEX F10.7, USING DATA ON RADAR-BAND SOLAR RADIO EMISSION

**M.Y. Filippov, N.A. Khodataev**

Joint Stock Company «Academician A.L. Mints Radiotechnical Institute», Moscow, Russia  
mm.grif@gmail.com

**Аннотация.** В работе исследовались связи вариаций мощности радиоизлучения Солнца в диапазоне РЛС и индекса F10.7. Показано, что вариации с характерными временами больше применяемого окна весового усреднения (5 дней) хорошо коррелируют. На основе обнаруженной зависимости разработан метод оценки индекса F10.7.

**Ключевые слова:** индекс F10.7, солнечная активность, радиоизлучение Солнца.

**Abstract.** In this paper we investigated depending variations of radar-band power of solar radio emission and index F10.7. It is shown that variations with characteristic times greater than the applied weight averaging window (5 days) correlate well. Based on the detected according to the developed method the estimation of the index F10.7.

**Keywords:** index F10.7, solar activity, solar radio emission.

### ВВЕДЕНИЕ

Солнечное радиоизлучение формируется различными слоями атмосферы Солнца, что приводит к тому, что при солнечных вспышках, которые формируют кратковременные мощные всплески радиоизлучения, из-за сложности процессов генерации, моменты начала, а тем более окончания всплеска не совпадают для существенно разнесенных частотных диапазонов. Однако, очевидно, что крупномасштабные долгопериодические вариации солнечной активности, проявляются во всех диапазонах и на больших интервалах усреднения могут быть поставлены в соответствие друг другу. Таким образом, целью настоящей работы является установление взаимосвязи между вариациями усредненных значений мощности радиоизлучения Солнца в метровом диапазоне и индексом F10.7, при изменении размера временного окна усреднения.

### ДАННЫЕ

Индекс интегральной солнечной активности F10.7 характеризует среднесуточный поток радиоизлучения Солнца, регистрируемый на длине волны 10.7 см (2800 МГц). Архив значений индекса F10.7 доступен свободно в сети Интернет [<http://www.spaceweather.gc.ca/solarflux/sx-5-en.php>], измеряется в единицах solar flux unit (sfu),  $1 \text{ sfu} = 10^{-22} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$ .

Ежедневные наблюдения радиоизлучения Солнца в метровом диапазоне включают периоды нахождения Солнца в секторе обзора, продолжительность которых зависит от географического расположения, сезона и ориентации антенного полотна РЛС. Регистрируются две угловые координаты в станционной системе координат и мощность радиоизлучения Солнца ( $P_{\text{АП}}$ ) регистрируемая в кодовых единицах (к.е.), с частотой дискретизации порядка нескольких единиц Гц.

$P_{\text{АП}}$  может быть описана при известном потоке излучения Солнца до ослабления атмосферой Земли

в частотной полосе приемного устройства, как:

$$P_{\text{АП}} \sim F_C \cdot \gamma \cdot G(u, v),$$

где  $G(u, v) = (1 - u^2 - v^2)^{-1/2}$  — коэффициент усиления антенны [Сколник, 1976];  $F_C$  — поток солнечного излучения вне атмосферы;  $\gamma$  — коэффициент поглощения атмосферы;  $u, v$  — угловые координаты в станционной системе координат.

Поглощение атмосферы формируется составляющими ионосферы и тропосферы. Для вертикального распространения, ионосферная составляющая может быть оценена сверху исходя из известных данных о поглощении в коротковолновом диапазоне, а также квадратичной зависимости величины поглощения от частоты [Альперт, 1972], в пересчете на метровый диапазон эти потери составляют доли дБ. В литературе [Сколник, 1977], для наклонного распространения на малых углах места, приводятся оценки диапазона возможных значений тропосферной составляющей ослабления, для метровых волн верхняя граница определена на уровне 0.2 дБ. Таким образом, для вертикального распространения, совокупные потери в атмосфере, вероятно, составляют не более 1 дБ и что немаловажно, представляют собой медленно изменяющуюся величину как в течение дневного наблюдения  $P_{\text{АП}}$ , так и день ото дня. Однако, в силу изменения протяженности существенной для формирования ослабления части среды, предполагается некоторая зависимость величины мощности активной помехи от зенитного угла Солнца.

### ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Регрессионный анализ показал, что вариации среднесуточных величин  $P_{\text{АП}}$  и F10.7 связаны друг с другом с линейным коэффициентом корреляции порядка 0.6. В аналитическом виде эту связь можно представить следующим образом:

$$F10.7(P_{\text{АП}}) = A \cdot P_{\text{АП}} / G(u, v) + B, \quad (1)$$

где A и B — регрессионные коэффициенты.

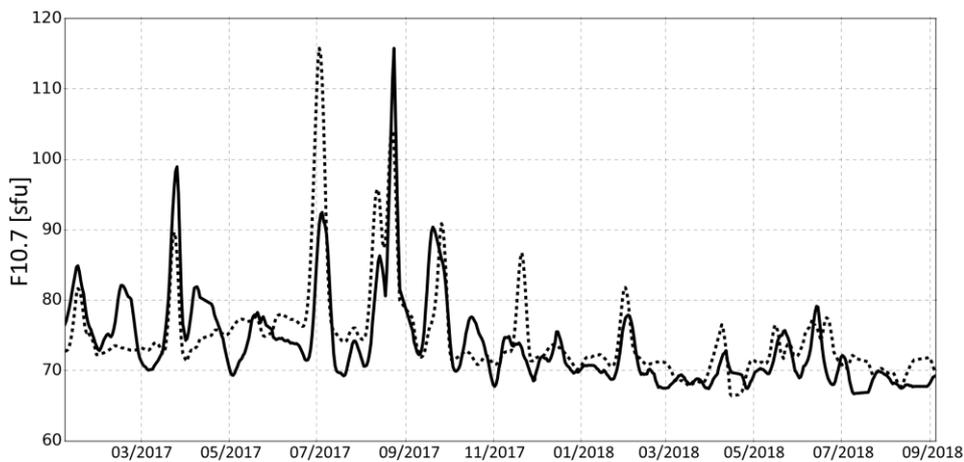


Рис. 1. Сглаженное окном шириной 5 сут радиоизлучение Солнца на длине волны 10.7 см. Сплошная кривая — наблюдаемые величины, пунктирная кривая — рассчитанные по формуле (1)

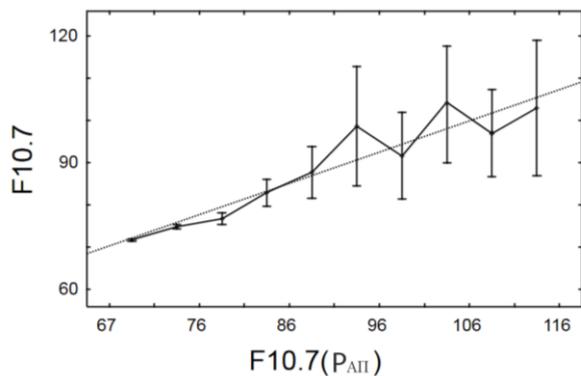


Рис. 2. Зависимость величин индекса  $F10.7$  от  $F10.7(P_{АП})$ , рассчитанных по формуле (1). Ломаная линия показывает средние значения в интервалах, диапазон показывает 95 % среднеквадратичного отклонения в интервале, точечная прямая определена линейной регрессией

На основе допущения, что исследуемые вариации  $F10.7$  имеют характерные временные масштабы хотя бы несколько суток, были предприняты меры к повышению корреляции. На рис. 1 представлены временные вариации наблюдаемых (сплошная кривая) и рассчитанных по формуле (пунктирная кривая) величин  $F10.7$ , сглаженных при помощи свертки с инерционным окном в 5 суток вида  $(0.05, 0.1, 0.5, 0.8, 0.95, 1, 0, 0, 0, 0, 0)$ . Для снижения влияния ослабления среды при маленьких углах места Солнца, в формировании суточного среднего  $P_{АП}$  были выбраны только данные  $\pm 2$  ч от локального полудня, что в совокупности позволило достичь коэффициента корреляции 0.75. На рис. 1 хорошо заметен характерный период обращения Солнца 27 дней, наблюдаемый в обеих кривых. Выделяется период повышенной гелиогеофизической активности в сентябре 2017 г., когда предлагаемый метод расчета показал хорошее совпадение результатов с наблюдениями.

На рис. 2 представлена зависимость исследуемых параметров друг от друга за доступный период. Из рисунка видно, что принятая линейная зависимость правдоподобно описывает взаимосвязь параметров  $F10.7$  — расчетных и наблюдаемых, что

подтверждается коэффициентом корреляции  $\sim 0.75$ . Увеличение среднеквадратичного отклонения для  $F10.7 > 90$  объясняется малым количеством таких данных за доступный период наблюдений. Необходимо отметить, что при расчете индекса  $F10.7$  не была произведена предварительная подготовка данных  $P_{АП}$  на предмет выделения и удаления непериодических вариаций (шумовых бурь) на фоне среднего, что вероятно, позволило бы получить более высокую корреляцию.

Таким образом, применяя усреднение среднесуточных величин с инерциальным окном, а также формулу (1), на основе информации мощности радиоизлучения Солнца в метровом диапазоне можно оценить величину потока радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 1972. 564 с.  
 Сколник М.И. Справочник по радиолокации. М.: Сов. Радио, 1976. Т. 1. 456 с.  
 Сколник М.И. Справочник по радиолокации. М.: Сов. Радио, 1977. Т. 2. 408 с.  
 URL: <http://www.spaceweather.gc.ca/solarflux/sx-5-en.php> (дата обращения 13.09.2019).