

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ В
МЕЖДУНАРОДНОЙ МОДЕЛИ ИОНОСФЕРЫ И ПЛАЗМОСФЕРЫ
ПОСЛЕ РЕВИЗИИ РЯДА ЧИСЕЛ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН**

Гуляева Т.Л.

ИЗМИРАН, г.о. Троицк, Москва, 108480, Россия

**MODERNIZATION OF SOLAR ACTIVITY DRIVERS OF THE
INTERNATIONAL REFERENCE IONOSPHERE AND PLASMASPHERE
MODEL AFTER REVISION OF SUNSPOT NUMBER TIME SERIES**

Gulyaeva T.L.

IZMIRAN, Troitsk, Moscow, 108480, Russia

e-mail (gulyaeva@izmiran.ru)

The newly revised sunspot number, SSN2, since July 1, 2015 [1] presents a potential source of increased errors of the ionospheric models [2] which were built using the predecessor SSN1 index. In order to adapt the International Reference Ionosphere and Plasmasphere (IRI-Plas) model to re-calibration of the sunspot numbers, eight new options of the solar and ionospheric proxies of solar activity are incorporated into the IRI-Plas code for a period from 1948 to 2017 [3]: (1) the basic time series of sunspot number, SSN1; (2) renewed time series of sunspot number, SSN2; (3) the solar radio flux F10.7; (4) composite Magnesium II core-to-wing Mg II doublet (h and k ions of 279.56 and 280.27 nm); (5) the composite Lyman- α time series based on measurements from multiple instruments and models to construct a long time series history of the bright solar H I 121.6 nm emission; (6) the ionosphere total electron content TEC-noon based index; (7) global electron content in the ionosphere and plasmasphere, GEC; (8) the effective global ionospheric index IG, derived from foF2 critical frequency measured by the ionosonde network. The updated IRI-Plas model with the above solar and ionospheric proxy indices are provided at <http://ftp.izmiran.ru/pub/izmiran/SPIM/> and <http://www.ionolab.org/>.

Источником ионизации и диссоциации компонент верхней атмосферы, образующих ионосферу, служит электромагнитное излучение Солнца в ультрафиолетовой (УФ) части спектра от 5 до 400 нм. В связи с недавней рекалибровкой рядов числа солнечных пятен [1] возникла необходимость переоценки солнечных и ионосферных индексов в ионосферных моделях [2]. Прямое использование нового ряда SSN2 приводит к увеличению погрешностей модельных расчетов и прогнозов, так как ионосферные модели построены на основе предыдущего ряда SSN1.

С целью адаптации Международной справочной модели ионосферы и плазмосферы, IRI-Plas, к рекалибровке рядов числа солнечных пятен в нее введены восемь опций солнечных и ионосферных эквивалентов солнечной активности (СА) за период 1948-2017гг и прогноз на 2018-2019гг [3]:

(1) базовый ряд числа солнечных пятен SSN1; (2) обновленный ряд числа солнечных пятен SSN2; (3) поток солнечного радиоизлучения на волне 10.7 см, F10.7; (4) отношение MgII ядра к крылу ионов магния h и k в линиях 279.56 и 280.27 нм; (5) показатель эмиссии водорода в линии 121.6 нм Lyman- α ; (6) ионосферное полное электронное содержание TEC; (7) глобальное электронное содержание в ионосфере и плазмосфере GEC; (8) эффективный ионосферный индекс IG по измерениям критической частоты f_oF2 сетью ионозондов.

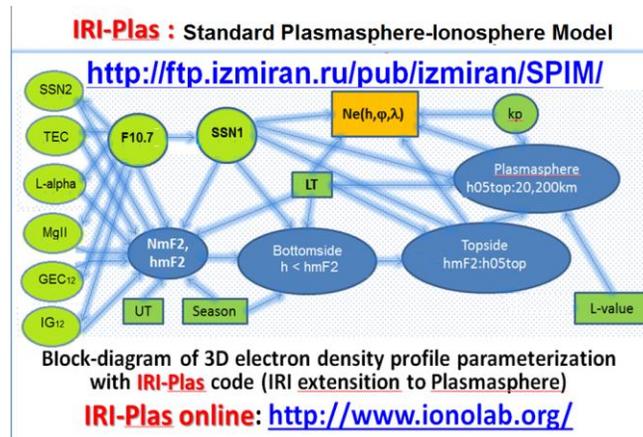


Рис. 1.

На Рис. 1 представлена блок-схема модели IRI-Plas с указанием перечисленных эквивалентов СА на входе в систему. Управляющие параметры СА используются в модели для расчета параметров максимума ионизации (максимальной плотности электронов NmF2, пропорциональной f_oF2 , и высоты максимума, hmF2) по картам [4]. На их основе рассчитывается высотный профиль электронной плотности $Ne(h, \phi, \lambda)$ в зависимости от высоты h и заданных координат на Земле (широты ϕ и долготы λ) ниже максимума ионизации (bottomside), во внешней ионосфере (topside) и плазмосфере. Поток солнечного радиоизлучения (индекс F10.7) вводится в модель IRI-Plas во всех вариантах ввода, либо индивидуально, либо совместно с любым из остальных индексов СА. Все индексы сглажены 12-месячным фильтром (по предыдущим 6 месяцам и последующим 6 месяцам) для каждого месяца в 1948-2017гг, включая их прогноз на 2018-2019 гг. Все указанные индексы СА, кроме F10.7, масштабированы к уровню SSN1, на который настроены исходные численные карты параметров максимума слоя F2 [4]. В частности, обновленный ряд солнечных пятен приводится к уровню базового индекса по формуле [2]:

$$SSN1_{12} = 0.7 \times SSN2_{12} \quad (1)$$

Масштабирующие коэффициенты для остальных индексов СА выведены на основе их регрессионных соотношений с SSN1 [3].

12-месячное сглаживание индексов СА, центрированное на каждый месяц, заканчивается за 6 месяцев до текущего времени, что приводит к необходимости прогноза указанных индексов на 6 месяцев вперед для модельных расчетов при мониторинге состояния ионосферы в реальном времени, либо на больший срок для прогноза на будущее. Обойти этот недостаток позволяет использование краткосрочных эффективных эквивалентов СА [5-6], основанных на ежедневных измерениях исходных индексов. Прежде чем применить эти краткосрочные эквиваленты СА в ионосферной модели, необходимо иметь индекс СА за каждый текущий день.

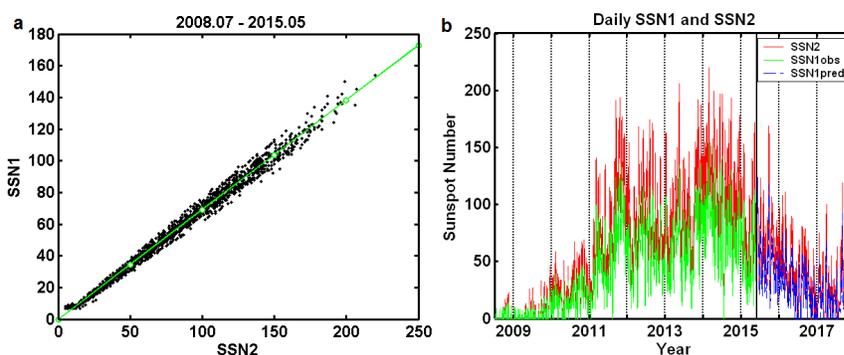


Рис. 2

Начиная с июля 2015г, базовый ежедневный индекс СА SSN1 более не производится (Рис. 2b, затемненная часть), а вместо него производится индекс SSN2 (<http://www.sidc.be/silso/datafiles>). Определим суточное значение базового индекса SSN1 из регрессионного соотношения (2) между ежедневными значениями $SSN1_d$ и $SSN2_d$ по измерениям с июля 2008г по май 2015г (Рис. 2a) в солнечных циклах SC23 и SC24:

$$SSN1_d = \begin{cases} 0.6925 \times SSN2_d - 0.2452 & \text{at } SSN2_d > 0 \\ 0 & \text{at } SSN2_d = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Расчет индекса $SSN1_d$ по формуле (2) ежедневно производится на сайте «Ионосферная погода» ИЗМИРАН (<http://www.izmiran.ru/ionosphere/weather/>) в таблице «Индексы kp и ar и текущий прогноз». В ней указан в предпоследней колонке индекс $SSN1_d$ (2), а в последней колонке приведен параметр F10.7 (ftp://ftp.geolab.nrcan.gc.ca/data/solar_flux/daily_flux_values/). На Рис. 2b показаны измеренные значения $SSN2_d$ (серые линии) в солнечных циклах SC23 и SC24 и измеренные значения $SSN1_d$ (черные линии) до июля 2015г, а также результаты расчета $SSN1_d$ по формуле (2) с июля 2015г по настоящее время (черные линии с крестиком, затемненная часть).

Сравнение ряда индексов СА [5] показало наивысшую точность индексов $MgII_{p3}$, $F10.7_{p3}$ и $SSN1_{p3}$ при глобальном моделировании полного электронного содержания в ионосфере, ТЕС. Эти краткосрочные индексы представляют собой среднее из 3х компонент ($p3$ – проху из 3), включая скользящее среднее (медиану) за 3 последних дня перед указанным днем, медиану за 27 предыдущих дней (1 оборот Солнца) и медиану за 81 предыдущий день (3 оборота Солнца). В [6] предлагается использовать интегральный индекс $F10.7(\tau)$, который является накоплением временного ряда значений $F10.7$ за предыдущие 27 дней (1 оборот Солнца) с экспоненциальным сглаживанием [7].

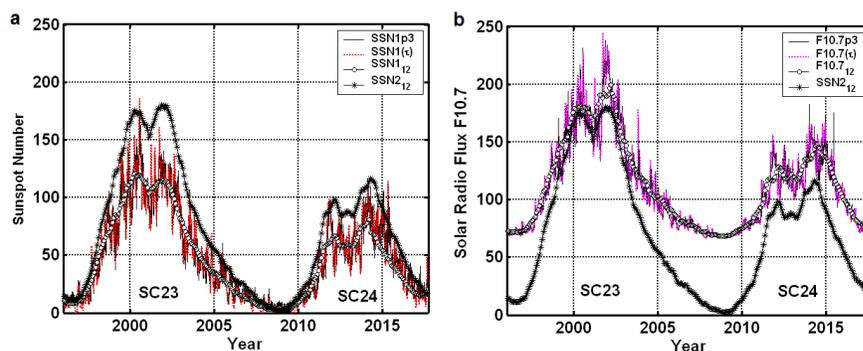


Рис. 3

На Рис. 3 приведены краткосрочные и долгосрочные эквиваленты солнечной активности в 23м и 24м циклах. Рис. 3а показывает индексы $SSN1_{p3}$, $SSN1(\tau)$, $SSN1_{12}$ и $SSN2_{12}$, а на Рис. 3б приведены индексы $F10.7_{p3}$, $F10.7(\tau)$, $F10.7_{12}$ и $SSN2_{12}$. Видны заметные осцилляции краткосрочных индексов вокруг 12-месячных сглаженных кривых. Видно заметное превышение индекса $SSN2_{12}$ над остальными значениями $SSN1$, наиболее заметное вблизи максимумов циклов. Значения $SSN2_{12}$ близки к значениям $F10.7_{12}$ в максимуме SC23, но они заметно различаются в максимуме SC24, что указывает на изменчивость связи между индексами $SSN2$ и $F10.7$ от цикла к циклу. Применение краткосрочных индексов типа $SSN1_{p3}$, $SSN1(\tau)$, $F10.7_{p3}$ и $F10.7(\tau)$ вместо прогнозируемых $SSN1_{12}$ и $F10.7_{12}$ при мониторинге текущего состояния ионосферы требует дальнейшей проверки точности модельных расчетов на ионосферных данных.

Литература

1. Clette, F. et al. // Space Sci. Rev., 2014, V.186, Is. 1, pp. 35–103.
2. Гуляева, Т.Л. // Солнечно-земная физика. 2016. Т. 2, №3, с. 59-68.
3. Gulyaeva, T. et al. // Int. J. Sci. Eng. Applied Sci. 2017. V. 3, Is. 5, pp. 144-150.
4. CCIR // CCIR Atlas of ionospheric characteristics. Comité Consultatif International des Radiocommunications, 1966.
5. Maruyama, T. // J. Geophys. Res. 2010. V.115, A04306, DOI:10.1029/2009JA014890.
6. Шубин, В. // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57, №4, с. 450-462.
7. Wrenn, G.L. // J. Geophys. Res. 1987. V. 92, pp. 10125-10129.