

НАБЛЮДЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИРКУТСКОМ РАДАРЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЙНИЯ

А.Г. Сетов, Р.В. Васильев, А.В. Медведев, Д.В. Кушнарев

Институт солнечно земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
setov@iszf.irk.ru

OBSERVATION OF ABSOLUTE SOLAR FLUX AT IRKUTSK INCOHERENT SCATTER RADAR

A.G. Setov, R.V. Vasilyev, A.V. Medvedev, D.S. Kushnarev

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
setov@iszf.irk.ru

Аннотация. Полноценное исследование процессов, происходящих на Солнце требует инструментов, позволяющих регистрировать солнечное излучение в разных частотных диапазонах. В настоящее время лишь малая доля радиотелескопов охватывает метровый диапазон длин волн. Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) работает в диапазоне 154–162 МГц и обладает антенной с размерами 246×12 м, поэтому может использоваться в качестве радиометра. В данной работе представлены наблюдения калиброванной спектральной плотности мощности солнечного излучения, полученные в пассивном режиме работы ИРНР.

Ключевые слова: поток солнечного излучения, калибровка, Иркутский радар некогерентного рассеяния.

Abstract. To conduct comprehensive research of processes on the Sun, instruments are required that are able to record solar radiation at different frequency ranges. Nowadays, only a small fraction of all radiotelescopes operate in a meter waveband. Irkutsk Incoherent Scatter Radar (IISR) works in 154–162 MHz and has 246×12 m antenna, thus can be used as a radiometer. The paper presents observations of calibrated spectral density of solar radiation, obtained in the passive operation mode of the IISR

Keywords: solar flux, calibration, Irkutsk Incoherent Scatter Radar.

ВВЕДЕНИЕ

Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР) — это бывший военный радар, который был передан в ведомство ИСЗФ СО РАН для использования в качестве исследовательской установки. Радар обладает большой рупорной антенной с размерами 246×12 м, возбуждаемой щелевой структурой и разделенной на два полурупора перегородкой. В антенне присутствует поляризационный фильтр, который пропускает волны только с горизонтальной поляризацией. Рабочие частоты 154–162 МГц, узкая диаграмма направленности (лепесток $0.5^\circ \times 10^\circ$) и мощные передатчики позволяют получать параметры ионосферы методом некогерентного рассеяния. Лепесток антенны наклоняется электронным образом на 30° , путем изменения несущей частоты. Радар был модифицирован и оборудован цифровой системой приема и регистрации [Potekhin et al, 2009]. Однако, помимо работы по зондированию ионосферы в активном режиме, ИРНР также используется в качестве радиотелескопа. В сектор обзора ИРНР попадают такие мощные радиоисточники как Лебедь-А, Кассиопея-А и Крабовидная туманность, а в летнее время — Солнце. Благодаря этому, возможно измерение потока солнечного излучения. Такие измерения актуальны, так как в мире существует мало инструментов, работающих в метровом диапазоне и при этом обладающих антенной с большой апертурой. В данной работе показаны измеренные значения солнечного потока на ИРНР после проведения калибровки.

МЕТОД КАЛИБРОВКИ ИЗМЕРЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

В пассивном режиме на ИРНР проводятся два типа измерений: сканирование всего сектора обзора и

слежение за мощными радиоисточниками. Во время периода наблюдения Солнца, слежение проводится за Солнцем и источником Лебедь-А, который проходит через диаграмму радара в вечернее и ночное время. На рисунке 1 показано частотно-временное распределение принятой мощности сигналов, получаемых на ИРНР. С ~01:00 по 10:00 происходит слежение за Солнцем, с ~17:00 по 22:00 — слежение за Лебедем-А, а в остальное время — наблюдение всего неба. Полосы на рисунке соответствуют приему на разных центральных частотах и появляются из-за конечной ширины АЧХ приемного тракта.

Поскольку Лебедь-А — это достаточно хорошо изученный радиоисточник с известным значением уровня потока излучения, он используется в качестве калибровочного источника. Для лепестка ИРНР он представляет собой точечный источник, что существенно упрощает выражения для значения принятого сигнала. Ранее были получены аналитические выражения для диаграммы направленности и разработаны модели принятого сигнала [Васильев и др., 2016]. Все это позволяет построить регрессию между ожидаемой и наблюдаемой мощностью сигнала Лебеда-А и получить калибровочные коэффициенты — усиление и значение собственных шумов приемного тракта.

Однако для применения калибровочных коэффициентов, полученных по Лебедею-А, необходимо также ввести поправку на изменение общего усиления антенны с частотой. На рисунке 1 это изменение заметно как спадание нарастания уровня мощности с ростом частоты в режиме сканирования. Чтобы ввести поправку была использована модель космического шума Global Sky Model (GSM), которая является аппроксимацией множества реальных карт, полученных на прецизионных радиотелескопах [de Oliveira-Costa A., 2008]. Предположив неизменность собственных шумов приемника с частотой (варьиру-

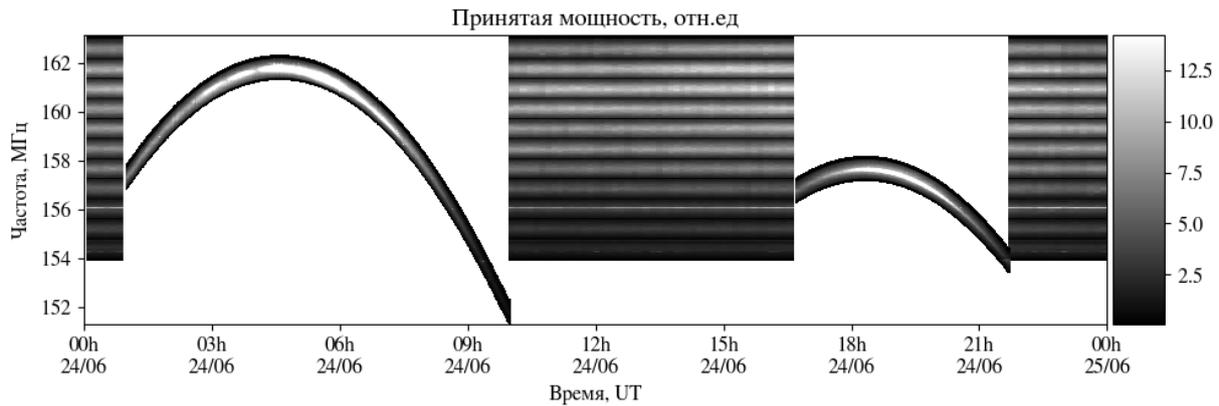


Рис. 1. Частотно-временное распределение принятой мощности в течение одного дня наблюдений

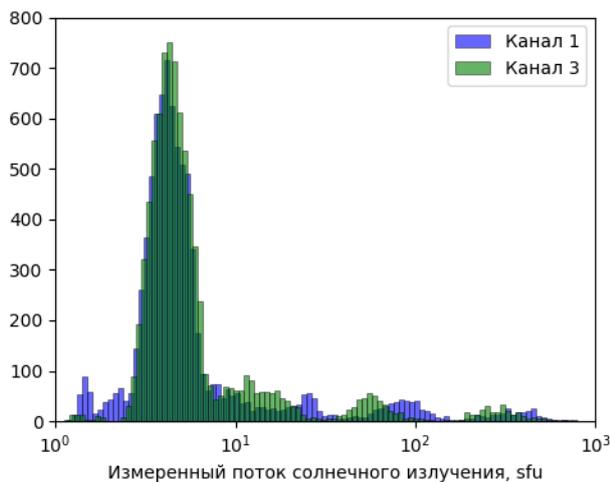


Рис. 2. Гистограмма значений солнечного потока за 36 дней наблюдений в 2017–2018 годах

ется только усиление), были получены поправочные коэффициенты. Разность в усилении на центральных частотах наблюдения Солнца и Лебеда-А составляет около 40 %.

АБСОЛЮТНЫЙ ПОТОК СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В отличие от Лебеда-А, Солнце для диаграммы ИРНР является распределенным источником. Более того, ширина луча радиометра в азимутальном разрезе и угловые размеры Солнца обладают практически одинаковой величиной. Поскольку точная форма распределения излучения по солнечному диску меняется, была введена модель — размытый эллипс, с размерами, соответствующими наблюдаемым в данном диапазоне частот [Leblanc, le Squeren, 1969]. Конечно, форма распределения солнечного излучения меняется, особенно при появлении солнечных пятен и вспышек, однако для это допущение требуется для оценки значения солнечного потока.

Гистограмма измерений солнечного потока за 36 дней наблюдения Солнца в 2017 и 2018 годах представлены на рисунке 2. Показано абсолютное значение спектральной плотности мощности солнечного излучения в единицах solar flux units ($\text{sfu} \approx 10^{-22} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{Гц}^{-1}$). Значение потока было удвоено, чтобы скомпенсировать влияние поляризации

онного фильтра антенны ИРНР (предположение о случайно поляризации падающего излучения). Можно выделить основной диапазон наблюдаемых значений от 2.5 до 7 sfu со средним значением 4.7 sfu, а также периоды резкого возрастания потока в несколько десятков раз (периоды радиобурь). Значение потока в спокойные сутки соответствует наблюдаемым на других инструментах [Leblanc, le Squeren, 1969].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Солнечный поток наблюдаемый на ИРНР дает информацию о поведении солнечного излучения в метровом диапазоне. Полученные значение потока было откалибровано, однако было сделано допущение об эллиптической форме распределения интенсивности излучения по диску Солнца. В спокойные дни наблюдения значения потока составляет 2.5–7 sfu, а в периоды радиобурь значение потока может достигать ~1000 sfu. В дальнейшей работе планируется исследования пространственных и поляризационных характеристик получаемого излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильев Р.В., Глоба М.В., Кушнарев Д.С. и др. Модель сигнала дискретного космического радиосточника для Иркутского радара некогерентного рассеяния // XXV Всероссийская открытая конференция «Распространение радиоволн». Томск, 2016. Т. 3. С. 122–125.
- Potekhin A.P., Medvedev A.V., Zavorin A.V., et al. Recording and control digital systems of the Irkutsk Incoherent Scatter Radar // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2009. V. 49, N. 7. P. 1011–1021. DOI: [10.1134/S0016793209070299](https://doi.org/10.1134/S0016793209070299).
- Лебедев В.П., Медведев А.В., Кушнарев Д.С. Методика калибровки диаграммы направленности Иркутского радара ИР // Труды IX конференции молодых ученых «Физические процессы в космосе и околоземной среде». Иркутск, 2006. С. 185–188.
- de Oliveira-Costa A., Tegmark M., Gaensler B.M., et al. A model of diffuse Galactic radio emission from 10 MHz to 100 GHz // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2008. V. 388. P. 247–260. DOI: [10.1111/j.1365-2966.2008.13376.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2008.13376.x).
- Leblanc Y., le Squeren A.M. Dimensions, temperature and electron density of the quiet corona. Their variations during the solar cycle // *Astronomy & Astrophysics*. 1969. V. 1. P. 239–248.