

СПЕКТРЫ МИКРОВОЛНОВЫХ ИСТОЧНИКОВ НАД ПЯТНАМИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА РАТАН-600

**Опейкина Л.В.¹, Петерова Н.Г.², Топчило Н.А.³,
Абрамов-Максимов В.Е.⁴**

¹*Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия*

²*Санкт-Петербургский филиал САО РАН, Санкт-Петербург, Россия*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

⁴*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия*

SPECTRA OF MICROWAVE SOURCES ABOVE THE SPOTS ACCORDING TO OBSERVATIONS ON RATAN-600

**Opeikina L.V.¹, Peterova N.G.², Topchilo N.A.³,
Abramov-Maximov V.E.⁴**

¹*Special astrophysical observatory RAS, Nizhniy Arkhyz, Russia*

²*St. Petersburg Branch of SAO RAS, St. Petersburg, Russia*

³*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

⁴*Pulkovo Observatory, St. Petersburg, Russia*

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-261-264>

The flux density spectra of sunspot-associated sources were obtained by observations on RATAN-600 in the range of 1.8–10 cm and their spectral index were estimated. Spectral index was used to measure the magnitude of the magnetic field on the level of base of transition region. The result of the magnetic field measurement and analysis of the flux density spectra showed on the a discrepancy between the observed characteristics of sunspot-associated sources and the simplified radiation model according to which only the 3rd harmonic for extraordinary wave and 2nd for ordinary one are taken into account.

Основные наблюдательные характеристики микроволновых источников над солнечными пятнами хорошо изучены, и модель их излучения надежно установлена [1]. Тем не менее, имеются параметры пятенных источников, информации о которых мало. К таким параметрам относится спектральный индекс и его зависимость от длины волны. Мы рассмотрели спектральный индекс для спектров плотности потока и использовали его для оценки магнитного поля в переходной области между хромосферой и короной. Также мы приводим дополнительную информацию об обнаруженном в нашей и ряде других работ несоответствии наблюдаемых спектров упрощенной модели излучения, согласно которой необыкновенная (е) мода излучения генерируется на 3-й гармонике гирочастоты, а обыкновенная (о) – на 2-й. Это упрощение часто используется при интерпретации наблюдений, в частности, в методах оценки магнитного поля.

В работе мы использовали сканы радиоизлучения Солнца, полученные на РАТАН-600 в штатном режиме наблюдений в диапазоне частот 3–18 ГГц со спектральным разрешением $\Delta f/f \sim 1\%$. Выбранные для анализа

активные области перечислены в таблице. Все они, за исключением NOAA 12674, имели униполярную структуру. В 12674 рассматривалось головное пятно, наибольшее в группе. Заметной вспышечной активности во время наблюдений в выбранных активных областях не было.

Для получения спектров плотности потока F применялся стандартный алгоритм обработки солнечных сканов [2]. Наблюдаемые спектры аппроксимировались полиномами. Спектральный индекс вычислялся по формуле $n = d(\lg F)/d(\lg \lambda)$, где в качестве F использовались аппроксимирующие полиномы. Спектры и спектральные индексы для пятен в активных областях NOAA 11312 и 12526 показаны на рисунке 1. Кривые для остальных пятен ведут себя похожим образом.

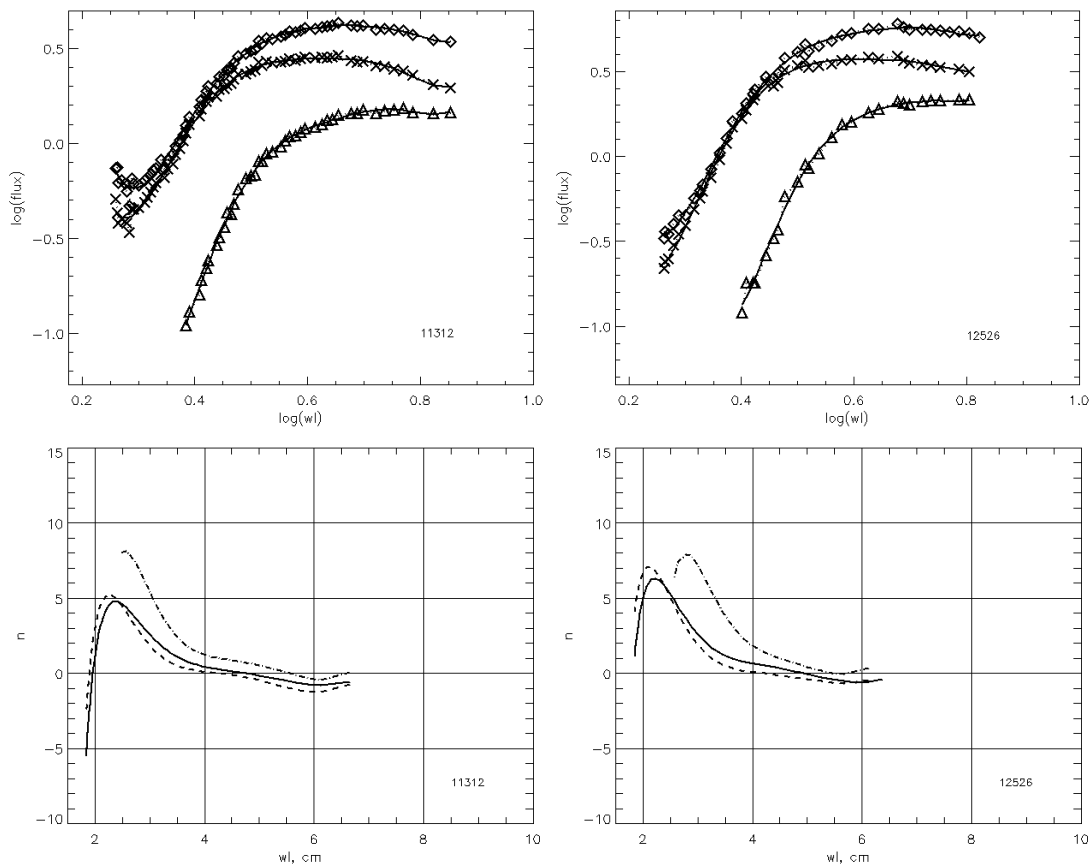


Рис. 1. В верхнем ряду приведены спектры, в нижнем – спектральные индексы. Наблюдаемые отсчеты спектров показаны символами: $\diamond$ – параметр Стокса I, $\times$ – е-мода, Δ – о-мода, сплошными линиями – аппроксимация спектров полиномами. Спектральные индексы для I показаны сплошной линией, для е-моды – штриховой, для о-моды – штрих-пунктирной.

Можно показать, что для упрощенной модели циклотронного излучения над пятнами спектральный индекс для каждой из нормальных мод определяется формулой $n = ((dT/dh)/T) \cdot (B/(dB/dh)) - 2$, где T , B , h – температура, магнитное поле и высота в атмосфере над пятном [3]. Расчет зависимости n от высоты для дипольного распределения B и распределения T с

почти "скачкообразным" изменением температуры в переходной области показан на рис. 2. Максимум спектрального индекса в этом случае находится в основании переходной области. По положению максимума на наблюдаемых кривых можно оценить магнитное поле. Такие оценки для рассмотренных пятен приведены в таблице.

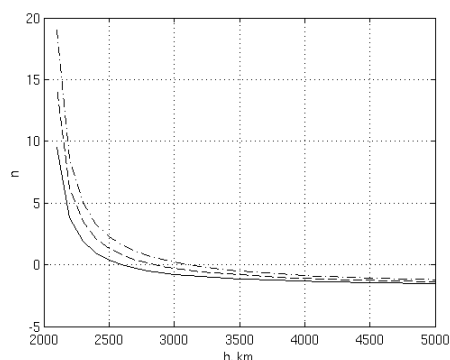


Рис. 2. Модель спектрального индекса для разной глубины погружения диполя.

Таблица. Магнитное поле, определенное по максимуму спектрального индекса.

NOAA	11312	11899	12526	12670	12674	12738
B3, Гс	1590	>2050	1680	1550	1790	1930
B2, Гс	2090	>2680	1930	1960	2190	2060

Из таблицы видно, что поля, определенные по максимуму спектрального индекса обыкновенной (B2) и необыкновенной (B3) моды, в большинстве случаев различаются. Расхождение между полями, определенными по 2-й и 3-й гармоникам было замечено ранее в работе [4]. Рассмотрим, как проявляется это расхождение на кривых зависимости F и $F \cdot \lambda^2$ от магнитного поля, построенных в предположениях упрощенной модели. Примеры таких кривых приведены на рис. 3. Учитывая, что при одинаковом B излучение идет из одного и того же слоя атмосферы, где яркостная температура и размер источника в обеих модах примерно равны, можно было ожидать, что плотность потока e -моды будет везде превышать плотность потока o -моды, а кривые параметра $F \cdot \lambda^2$ – совпадать. Однако для всех исследованных нами пятенных радиоисточников оба параметра показывают избыток o -моды, причем максимальное поле для o -моды во всех случаях оказывается заметно больше.

В работе [4] было сделано предположение, что расхождение в оценке поля по 2-й и 3-й гармоникам связано с тем, что на коротких волнах значительный вклад в обыкновенную моду вносит излучение gyroуровня, соответствующего 3-й гармонике гирочастоты. У плотности потока F избыток o -моды виден только на коротких волнах, что на качественном уровне согласуется с этим предположением. Величина максимального поля o -моды также не противоречит предположению о вкладе 3-й гармоники, так как отличается от B3 не более чем в 1.5 раза. Однако для $F \cdot \lambda^2$ избыток o -моды

наблюдается почти во всем диапазоне длин волн, что сложнее объяснить вкладом 3-й гармоники.

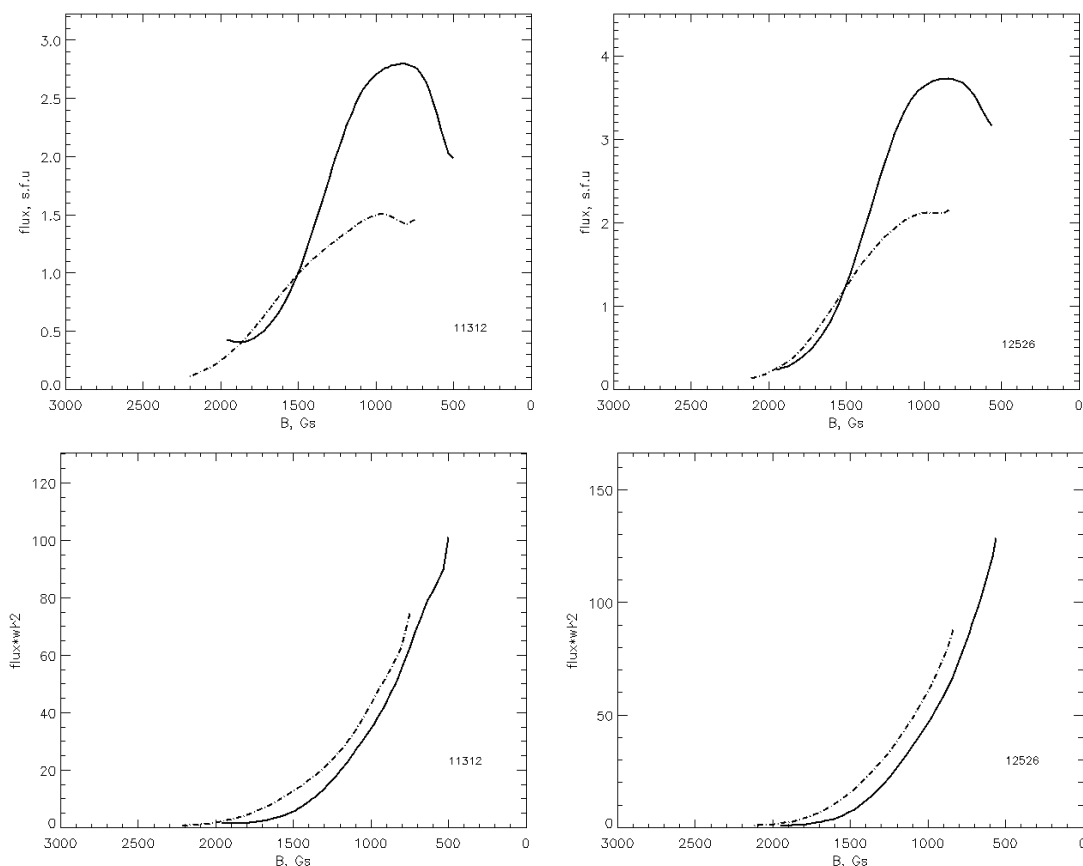


Рис. 3. Зависимость F и $F \cdot \lambda^2$ от магнитного поля для упрощенной модели пятенного радиоизлучения. Сплошными линиями показана е-мода, штрих-пунктиром – о-мода.

Таким образом, спектры рассмотренных нами пятен нельзя объяснить упрощенной моделью излучения. Возможно, неверно предположение о равенстве размеров источника о- и е-моды, излучаемых одним и тем же слоем атмосферы. Однако только различием размеров объяснить разницу в величинах максимального поля для о- и е-мод нельзя. Для выяснения причины расхождения результатов наблюдений с упрощенной моделью, необходимо дальнейшее изучение обнаруженных особенностей как по наблюдениям, так и с помощью компьютерного моделирования излучения.

Литература

1. Железняков В.В. Радиоизлучение Солнца и планет. – М.: Наука. 1964.
2. Ахмедов Ш.Б. и др. // Астрофиз. исслед. (Известия САО), 1987, т. 25, с.105.
3. Шейнер О.А. и др. // Изв. ВУЗов, Радиофизика, 1979, т.22(9), с.1042.
4. Yasnov L.V. et al. // Astrophysical Bulletin, 2020, v.75(1), p.50.