

Вычисление яркостной температуры локальных радиоисточников на Солнце.

Для расчета параметров локальных источников (ЛИ) используются формулы из [1]. Приведем основные соотношения.

Одномерное сглаженное диаграммой антенны наблюдаемое гауссовское распределение интенсивности описывается формулой:

$$F_y(x) = F_y^0 \times e^{\left(\frac{-2.773x^2}{B^2}\right)} \quad (1)$$

Где F_y^0 - высота гауссианы [Ян/сек.дуги], B- ширина гауссианы на уровне половины интенсивности. Полный поток равен площади под гауссианой:

$$F = 1.064 \times F_y^0 \times B \times 10^{-4} \text{ [с.е.н.]} \quad (2)$$

Полагая, что истинное распределение одномерной интенсивности $I_y(x)$ также описывается гауссианой с высотой $I_y^0(x)$ и шириной B_0 , эти параметры можно вычислить как:

$$B_0 = \sqrt{B^2 - \theta_{0.5}^2}$$
$$I_y^0(x) = \frac{F_y^0 B}{B_0}$$

Где $\theta_{0.5}^2$ - ширина гауссианы ДНА на уровне половины от максимума.

Считая, что истинное распределение яркостной температуры $T_b(x, y)$ также описывается двумерной гауссианой с круговой симметрией и с шириной B_0 , получаем:

$$T_B^0 = \frac{1.443 \times I_y^0 \times \lambda^2}{B_0} \text{ [K]}$$

Подставляя сюда значение I_y^0 , получаем:

$$T_B^0 = \frac{1.443 \times F_y^0 \times B \times \lambda^2}{B^2 - \theta_{0.5}^2} \text{ [K]} \quad (3)$$

Т.е. для вычисления полного потока, высота гауссианы умножается на ее ширину, квадрат длины волны, и делится величиной, определяемую квадратом предполагаемого размера ДНА на данной длине волны (рис 1с).

На практике, результаты (2) и (3) домножаются на коэффициент перехода от антенных температур к потокам, зависящий от частоты, который отражает коэффициент передачи антенны. Этот коэффициент определяется путем (калибровочных) наблюдений опорных источников: (почти)точечного источника с известным потоком (это обычно Краб (Тай А), как наиболее яркий компактный радиоисточник в интересующем нас сантиметровом диапазоне), и

Луны, как объекта с известной антенной температурой (яркостная температура ~220K практически на всех волнах, антенная температура ~110K), оба с записью черного тела.

Для получения правильных абсолютных значений потоков и яркостных температур необходимо, чтобы коэффициенты перехода от антенных температур к потокам, а также размер диаграммы на всех частотах соответствовали текущему состоянию антенной системы. Также перед вычислением потоков запись (в градусах антенной температуры) необходимо правильно отмасштабировать, для чего в сантиметровом диапазоне может быть использована измеренная заранее таблица антенных температур спокойного Солнца (возможны варианты калибровки по черному телу и [по генератору шума](#) (ГШ)). На рис 1 приведены используемые в настоящее время в программе [Workscan](#) и на сайте «[Прогноз](#)» таблицы вышеназванных параметров. Первые два параметра заносятся в каждый файл записи при конвертировании его в FITS формат программой arm2fits (pas2fits) из файла *crab0coef.dat*, а размер диаграммы рассчитывается по эмпирической формуле $\theta = 0.2 + 0.94 \cdot 3.0e5 / \text{freq}[i]$. В дальнейшем значения этих параметров можно изменить в WorkScan-e с помощью функции меню Scan->Correction->FITS Param, задав путь к файлу с таблицей параметров в формате .cor.

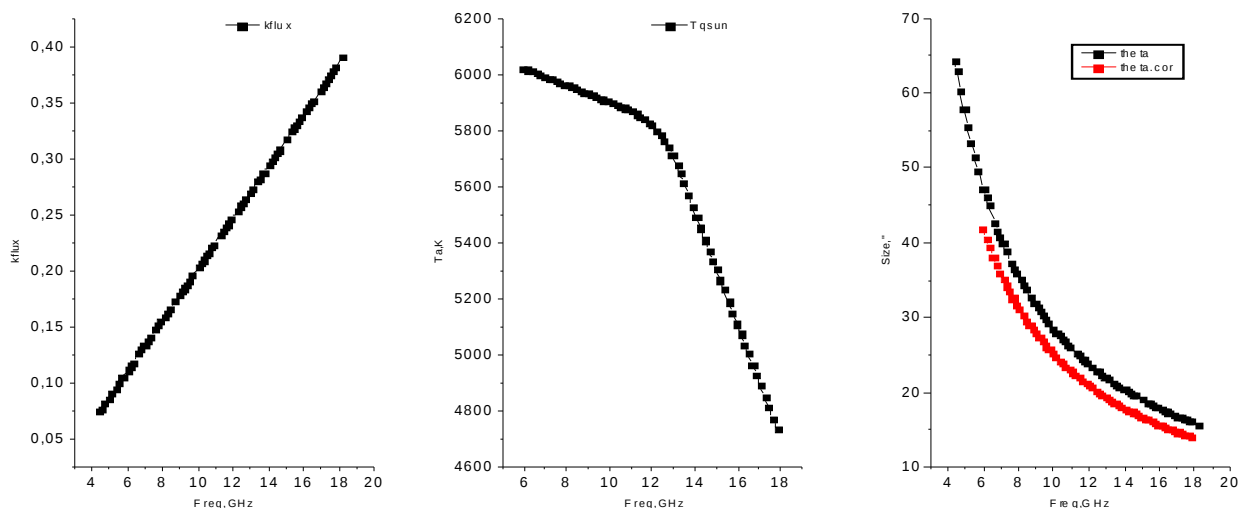


Рис. 1 а) Коэффициент перехода от антенных температур к потокам. б) температура спокойного солнца из файла с) горизонтальный размер диаграммы: черная линия - согласно программе arm2fits, красная кривая - предложенный Опейкиной вариант (<http://www.spbf.sao.ru/data/utls/theta.cor>)², аппроксимируется функцией $250.22 / \text{freq}[i]$.

¹ Я думаю, что расчетные значения ДН ты [Гараимов -ТС] получаешь с помощью одного из
> > вариантов алгоритма Коржавина, которые я тебе давала некоторое время тому
> > назад. Причем угол облучения антенны РНЮ взят равным 25 градусов, а не
> > 45, поэтому ширина оказывается завышенной. Для текущих установок надо
> > брать 45, т.к. на главном зеркале выставляется максимально возможное для
> > высоты 0 число шитов.

² Я думаю, что расчетные значения ДН ты [Гараимов -ТС] получаешь с помощью одного из
> > вариантов алгоритма Коржавина, которые я тебе давала некоторое время тому
> > назад. Причем угол облучения антенны РНЮ взят равным 25 градусов, а не
> > 45, поэтому ширина оказывается завышенной. Для текущих установок надо
> > брать 45, т.к. на главном зеркале выставляется максимально возможное для
> > высоты 0 число шитов.

В случае калибровки по черному телу из температуры калибровочной ступеньки вычитается шумовая температура антенны на данной частоте, значения которой берутся из пятого столбца файла [sh-fits.cfg](#).

Также для обработки данных наблюдений Солнца на РАТАН-600 необходимо знать размер вертикальной ДНА на каждой волне, для чего проводятся двухнедельные наблюдения калибровочных источников (Краб, Лебедь А) в меридиане с пошаговыми выносами по высоте вверх и вниз.

В частности, вертикальный размер диаграммы определяет, какая часть Солнца попадает в ДНА при калибровке по полному потоку, или на какой уровень ДНА попадает ЛИ находящийся на определенной широте Солнца.

К вычисленному по формуле (3) значению T_B^0 должна прибавляться температура подложки, от которой вписывалась гауссиана. В случае если это спокойное Солнце, прибавляется яркостная температура спокойного Солнца. В приведенной ниже обработке этого не сделано.

Формулы 1 и 2 реализованы на сайте следующим образом:

Гауссиана вписывается с помощью стандартной процедуры `gaussfit` в IDL в процедурах `gauss_param.pro` и `gauss_plot.pro` после вписывания гауссианы:

```
r=gaussfit(xx,s,a,Nterms=3,estimates=[a0,a1,a2])
```

Далее вызывается `ars=rat_ta2flux(ss,a, ext1[ifr0].theta, ext1[ifr0].kflux, cdelt1, pos, freq, r=r)`.

функция для перевода расчетных параметров гауссианы в физические параметры источника:

```
function rat_ta2flux, s, a, theta, kflux, cdelt1, pos, freq, r=r

wd=a(2)*2.35482*cdelt1 ; shirina v arcsec FWHM =2*SQRT(2*ALOG(2))=2.35482
wd_c=0>((wd)^2-theta^2)

flux=a(0)*wd*kflux*1.064/10^4; K*arcsec*blabla = Jy
wl=30.0/freq ; cm
if wd_c gt 0 then tb=1.443*double(a(0)*wd*(wl^2)*kflux)/wd_c else tb=0.0
ta_i=max(s(*,0), imax)
ta_v=s(imax, 1)
centr=n_elements(s(*,0))/2.0
r0=sqrt(-alog(0.01)*a(2)*a(2)/2.773)
fflux_i=total(s(*,0))*kflux*cdelt1/10^4
fflux_v=total(s(*,1))*kflux*cdelt1/10^4

ar = {ar, freq:freq, pos:pos, wd:wd,wd_c:SQRT(wd_c), theta:theta, ampl:a(0), $
      ta_i:ta_i, fflux_i:fflux_i, fflux_v:fflux_v, gflux_i:flux,tb:tb }

return,ar

end

Эта функция вызывается из процедур
```

Пример автоматического гаусс-анализа наблюдений на сайте Прогноз и в WorkScan

Рассмотрим автоматический гаусс анализ источников на примере наблюдения Солнца 13 марта 2011г.

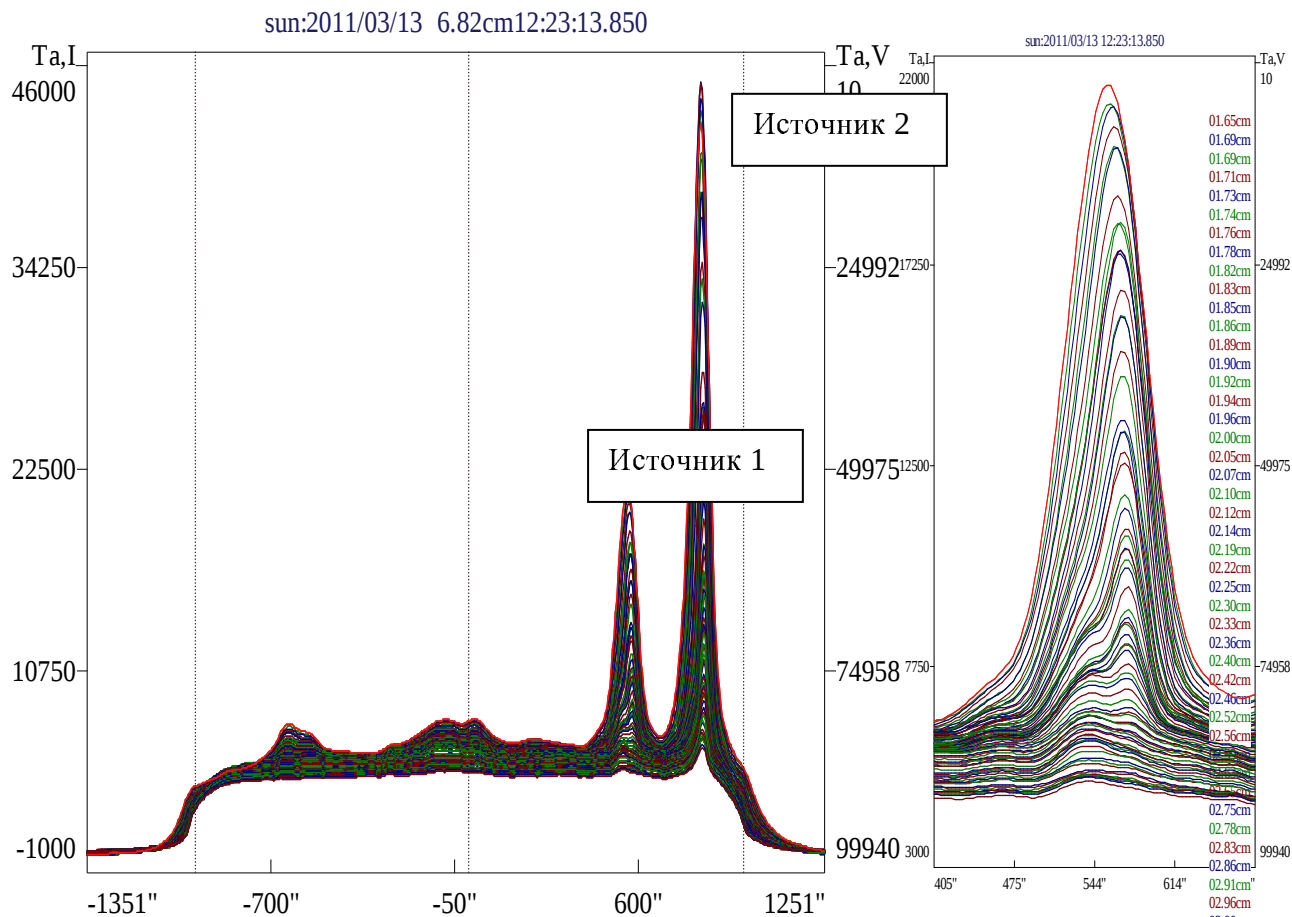


Рис. 1 Сканы Солнца 13 марта 2011г . Источник 1 (справа выведен в большем масштабе) является двойным, неразрешенным. Источник с правой стороны в нем имеет максимум спектра

на длинных волнах, с левой стороны – на коротких.

Источник 2 ближе к гауссиане по своей форме, но также имеет на коротких волнах дополнительный компонент со стороны центра Солнца.

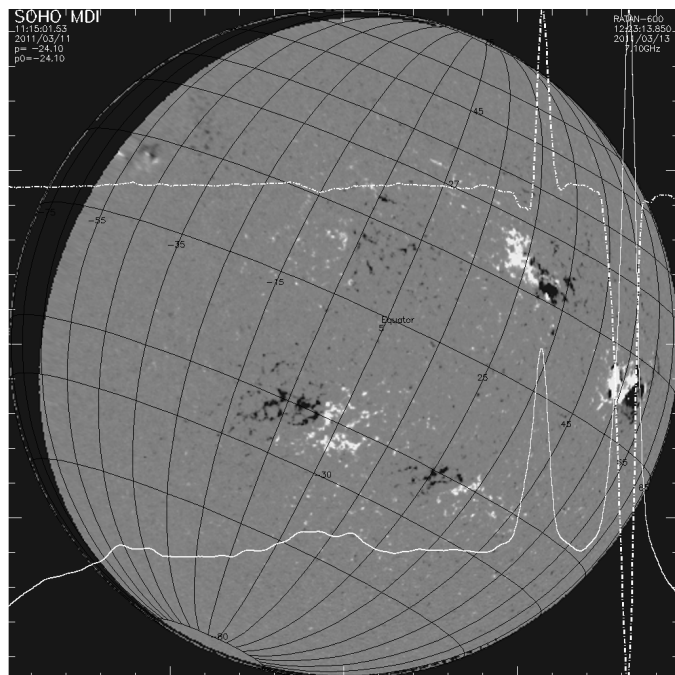


Рис.2 Наложение на магнитограмму (двумя днями раньше). Оба источника являются биполярными на фотосфере, и почти униполярными в радиодиапазоне (из-за эффекта проекции, и пр.).

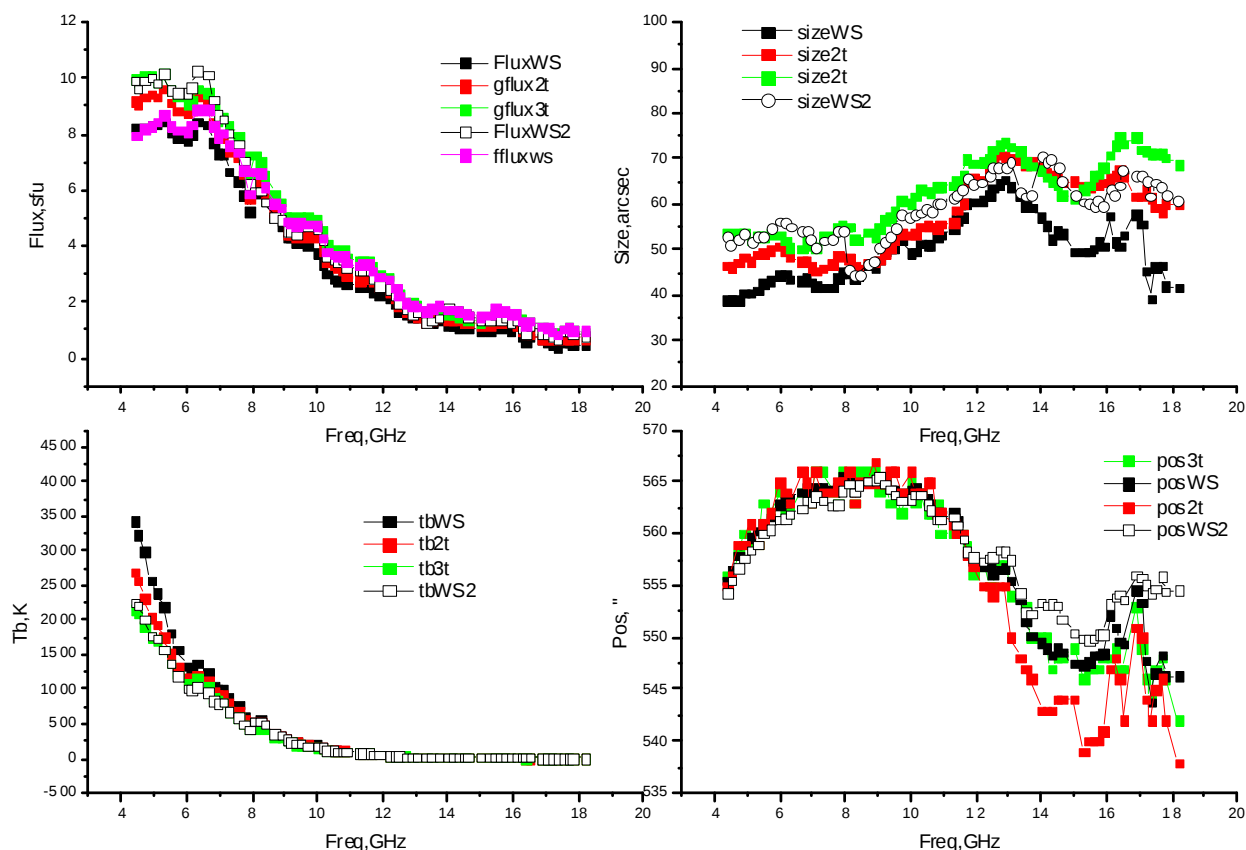


Рис. 3 Спектры различных параметров источника 1, полученных путем вписывания гауссиан. Сверху-вниз, слева-направо: а) Поток, б) яркостная температура, в) размер, г) положение на диске Солнца.

На рис. 1 черным цветом представлены параметры, рассчитанные в WorkScan, в 2-ух вариантах- закрашенными квадратами- окно вывода одного размера на всех волнах, прозрачными квадратами- использовано 3 разных размера окна для разных диапазонов волн, что дает более точный результат. Красным и зеленым цветом представлены результаты вписывания гауссиан на сайте. В первом случае гауссиана вписывалась в участок размером 20, во втором- 30. Сиреневым цветом представлен полный поток из WorkScan.

Меньший размер источника на коротких волнах в WorkScan-е объясняется тем, что гауссиана вписалась только в часть источника (см рис:4) В то же время как на сайте гауссиана вписана во весь источник (рис 5).

Центр гауссианы на коротких волнах смещается влево (позиция уменьшается), т.к. в спектре начинает преобладать источник с левой стороны (см рис 1б).

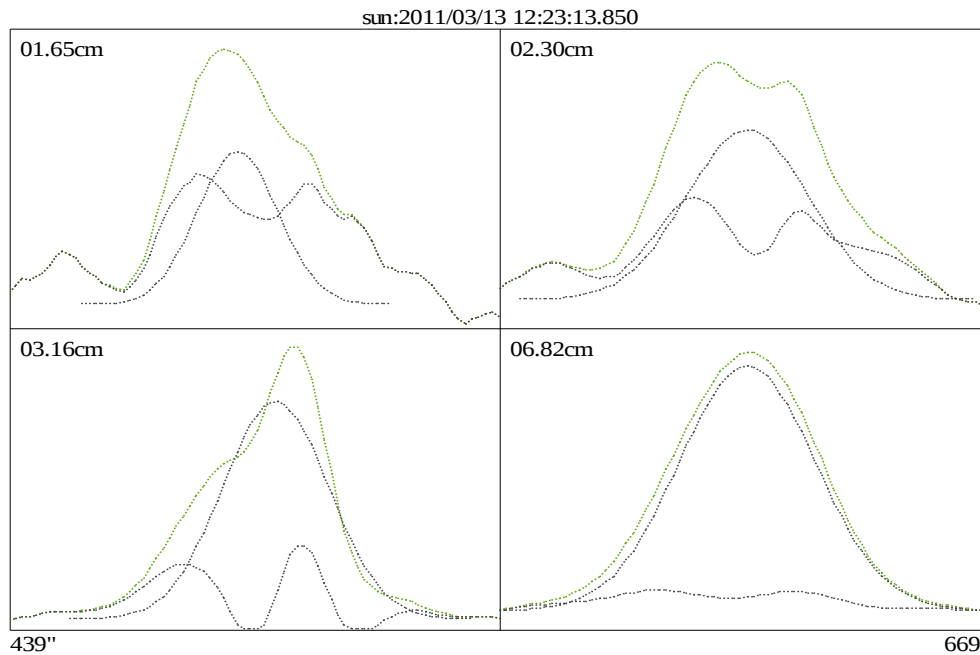


Рис. 4 Пример автоматического вписывания гауссиан в Workscan, на волнах 1.65, 2.3, 3.16, 6.82 см.

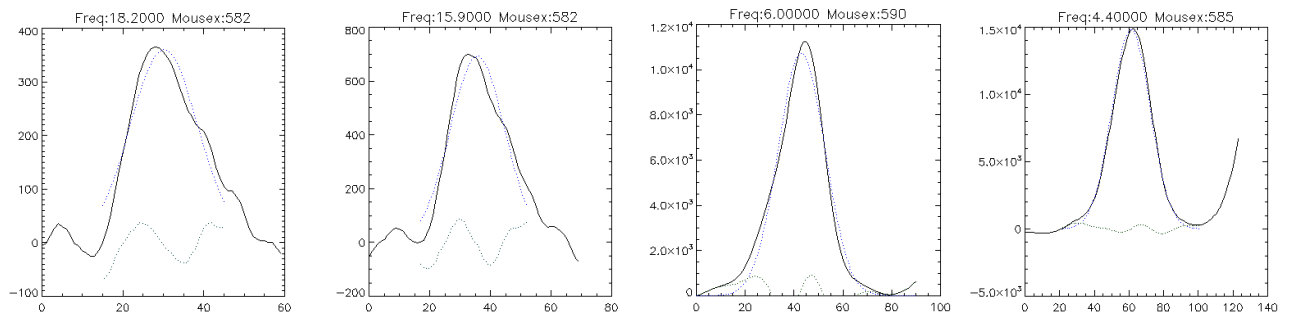


Рис. 4 Пример автоматического вписывания гауссиан на сайте, те же длины волн, что на рис. 4.

Различие в результатах отчасти объясняется различиями в алгоритмах выделения гауссиан- WorkScan ориентирован на вписывание нескольких гауссиан, а на сайте пока вписывается только одна гауссиана. Кроме того, на сайте размер окна задается не фиксированно, как в WorkScan, а пропорционально длине волны- обычно 2 или 3 размера ДНА (определенного как ширина на уровне половины максимума),.

Представляется, что рассчитанное в WorkScan и на сайте положение источника и поток совпадают достаточно хорошо. Размер гауссианы в обоих случаях несколько неустойчив к изменению размеров окна, в котором вписывается гауссиана. Т.к. яркостная температура зависит от квадрата размера источника, то ее значение может довольно значительно меняться в зависимости от начальных условий, особенно на длинных волнах.

Спектр источника 2

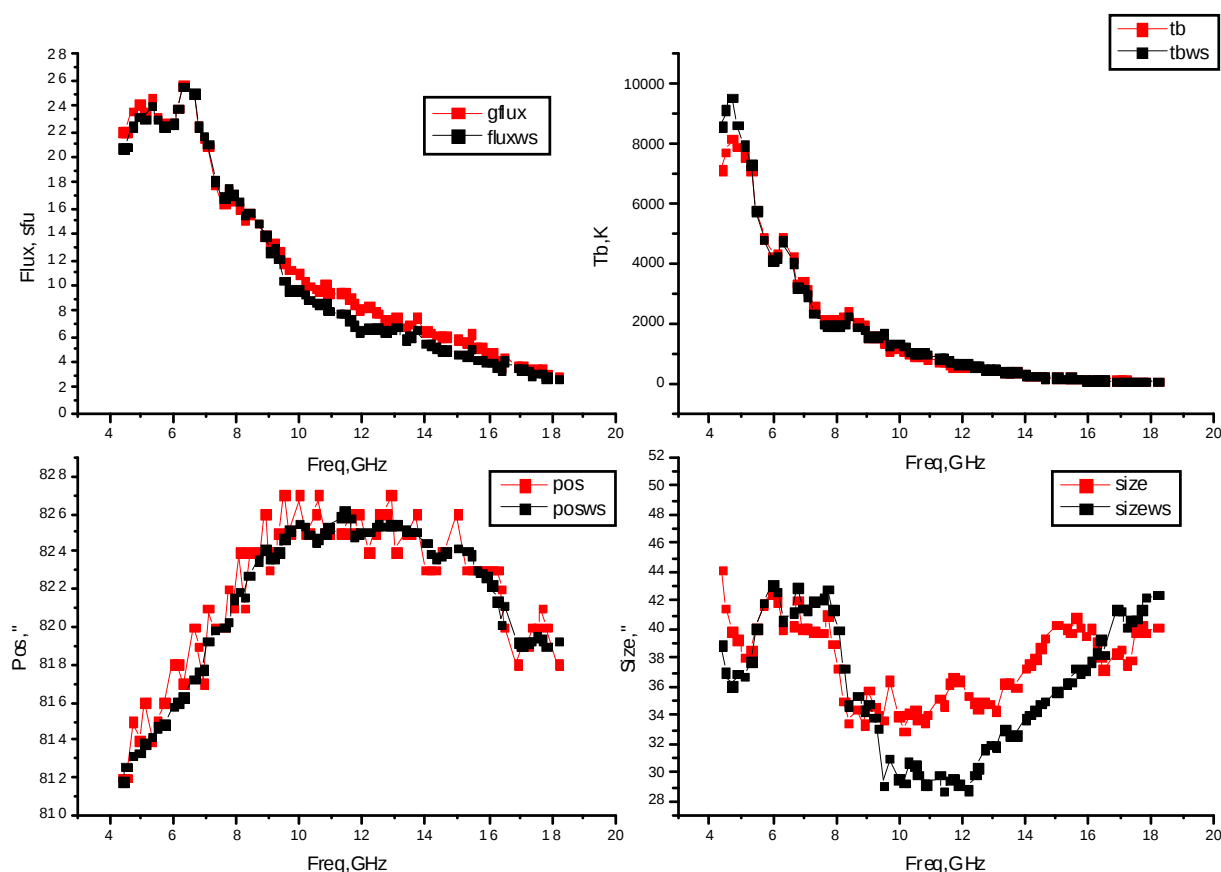


Рис 5 Рис. 3 Спектры параметров источника 2, полученных путем вписывания гауссиан. Сверху-вниз, слева-направо: а) Поток, б) яркостная температура, в) размер, г) положение на диске Солнца. Черные кривые- WorkScan, красные- Прогноз.

Соответствие настолько хорошее, что комментариев не требуется.

Разница между размерами до 6 секунд дуги (2 пиксела) в середине диапазона по-видимому обусловлено появлением маленького источника слева от главного максимума, наиболее выраженного на средних волнах. Этот источник в WorkScan рассматривается как отдельный, тогда как на сайте он практически входит в гауссиану.

Литература

В.М.Богод, Ш.Б.Ахмедов, В.Н.Боровик, Р.Ф.Вильсон, Г.Б.Гельфрейх, В.Н.Дикий, А.Н.Коржавин, К.Р.Ланг, З.Е.Петров: Структура активных областей на Солнце по наблюдениям на VLA и РАТАН-600 в июле 1982г. часть I. А3804, 1987, Астрофизические исследования, т.25, стр.105-134.
http://www.spbf.sao.ru/prognoz/papers/struktura_ao/800-600.pdf