

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДИОИСТОЧНИКА КАССИОПЕЯ-А ЗА ПЕРИОД 2007-2015гг.

Р.М.МАРТИРОСЯН¹, А.Г.ГУЛЯН², Г.А.ПИРУМЯН²,
С.А.САРГСЯН², Г.С.АВETИСЯН²

Поступила 10 июня 2016

Принята к печати 14 декабря 2016

В работе, на основе результатов регулярных радиоастрономических наблюдений (2007-2015гг.), проведенных на Саравандском научном полигоне ИРФЭ НАН РА, обсуждаются характер среднегодового изменения интенсивности радиоизлучения, а также достоверность периодичности изменения потока радиоисточника Кассиопея-А. Показано, что в указанный период интенсивность радиоизлучения Кассиопея-А уменьшалась примерно со среднегодовой скоростью 0.55%, а из результатов среднегодовых значений периода 2007-2015гг. просматривается кривая с малым (около 2.7-3 года) периодом изменений.

Ключевые слова: *радиотелескоп; радиоастрономические наблюдения; периодичность; цифровой анализ*

1. Введение. В работе [1] нами были приведены общие данные относительно временного изменения интенсивности излучения радиоисточника Кассиопея-А, отождествленного с остатками сверхновой созвездия Кассиопея. Было показано, что интенсивность его излучения на длине волны $\lambda = 4.2$ м в течение полувека уменьшилась более чем в полтора раза, со средней годовой скоростью около 0.5%. Отмечалось, что это уменьшение не является строго монотонным, а имеет переменный, согласно некоторым авторам, даже периодический характер.

Уменьшение потока радиоизлучения сверхновой явление понятное. Оно было теоретически предсказано [2] и подтверждено многими наблюдениями. Временные нерегулярные колебания потока ее радиоизлучения тоже вполне объяснимы и, как было отмечено в [1], могут быть результатом сложных процессов, протекающих внутри сверхновой. Что касается вопроса о периодичности изменения интенсивности излучения радиоисточника Кассиопея-А, то, как нам кажется, для уверенного подтверждения или отрицания этого явления не хватает достаточного объема данных регулярных и однородных наблюдений, хотя теоретически можно сделать на этот счет некоторые предположения, такие как вращение отдельных активных областей внутри

сверхновой, переориентация связанных с ней магнитных полей, пульсация и т.д. Наиболее полный набор данных наблюдений сделали авторы работ [3,4]. Анализ результатов наблюдений разных авторов выявил отклонение спада мощности радиоизлучения Кассиопея-А от средней линии.

Авторы [5] пришли к заключению о наличии периодического компонента в вариации радиоизлучения Кассиопея-А. Однако эти данные весьма неоднородны. Они получены на основе результатов экспериментов разных авторов, которые различаются методами наблюдения и регистрации информации и, что самое главное, наблюдения, на основе которых были собраны эти данные, проводились недостаточно регулярно по времени.

Цель настоящей работы, являющейся дополнением к статье [1], заключается в попытке внести ясность в вопрос о наличии временного периодического компонента в изменении радиоизлучения источника Кассиопея-А, основываясь на многолетних однородных, регулярных измерениях потока его радиоизлучения.

2. Программа и методика наблюдений. Учитывая тот факт, что плотности потоков радиоисточников Кассиопея-А и Лебедь-А известны с большой точностью и они кульминируют близ зенита, где галактический фон интенсивнее, для наблюдений была выбрана прилежащая область небосвода. Наблюдения проводились ежедневно, с девятичасовой продолжительностью, достаточной для прохождения обоих источников через диаграмму направленности неподвижного радиотелескопа, в интервале $17^{\text{h}}30^{\text{m}} \leq \alpha \leq 26^{\text{h}}30^{\text{m}}$ прямого восхождения источника. Совместная регистрация радиоизлучения галактического фона и дискретных радиоисточников осуществляется и в аналоговом виде - на ленте самописца, и в виде цифрового ряда - в памяти компьютера.

3. Наблюдение. В течение последних десятилетий на радиоинтерферометре Бюраканского полигона ИРФЭ НАН Армении, на длине волны $\lambda = 4.2$ м, проводятся систематические наблюдения области неба, содержащей в себе мощные радиоисточники Лебедь-А и Кассиопея-А, с целью установления физической связи между ионосферными и сейсмическими явлениями в периоды подготовки и самого события землетрясения. В конце 90-х годов прошлого века программа этих наблюдений была организована так, чтобы получаемые данные были пригодны для непосредственного использования в области астрофизических исследований, в частности, для решения поставленной выше задачи.

3.1. Радиотелескоп. Антенна радиотелескопа - полноповоротное плоское зеркало с линейными размерами $4\lambda \times 1.5\lambda$, состоящее из двенадцати равномерно распределенных синфазно возбужденных волновых диполей, столбики которого

соединяются кабелями с электрическими длинами $\lambda/2$. Волновые сопротивления отдельных диполей ($R \approx 900$ Ом) рассчитаны из условия согласования. Выход антенны через симметрирующий узел подается к радиометру. Для осуществления радиоинтерферометрии при регистрации слабых точечных космических радиоисточников над уровнем галактического фона, на территории полигона было установлено второе зеркало (один столб основного зеркала).

Параметры антенны (табл.1) определены радиоастрономическим методом с помощью радиоисточников Кассиопея-А и Лебедь-А.

Таблица 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АНТЕННЫ

Параметр	$A_{\text{эфф}}$	$\Phi_{\text{дБ}}$	$\Theta_{\text{дБ}}$	f_0	Δf	$K_{\text{ус}}$	$F_{\text{ш}}$
Величина	50 м ²	40°	15°	72 МГц	400 КГц	70 дБ	≥ 2.5

Для относительного измерения потока радиоизлучения Кассиопея-А была выбрана радиогалактика Лебедь-А, интенсивность радиоизлучения которой в период наблюдений можно считать постоянной.

В процессе проведения наблюдений антенны радиоинтерферометра были направлены на выбранную область и зафиксированы таким образом, чтобы радиоисточники Лебедь-А и Кассиопея-А, при прохождении через местный меридиан, кульминировали одинаково удаленными от оси максимума их диаграмм. Такая постановка эксперимента позволила значительно упростить проведение наблюдений, повысить информативность и стабильность получаемых данных без влияния на качество решения проблем, тем более астрофизической, решение которой основано на данных относительных измерений, а источники излучения кульминируют вблизи Зенита, проходя через достаточно широкую диаграмму антенн в плоскости склонения источников.

В течение 2007-2014 гг. проводились практически ежедневные наблюдения области неба, выбранной из вышеуказанных условий. По результатам измерений за этот период из банка данных были отобраны около 856 записей наблюдений лучших, с точки зрения их минимальной искаженности, помех.

С целью улучшения чувствительности системы использовались методы цифрового анализа данных наблюдения.

3.2. Узкополосная частотная фильтрация интерференционной гармоники (ИГ). Данный метод практически реализовался на примере наблюдения космического радиоисточника Телец-А на длине волны $\lambda = 4.2$ м с помощью радиоинтерферометра ИРФЭ с базой $D = 15\lambda$ и эффективной поверхностью антенн 50 м² и 10 м². Полный аналоговый сигнал (радиоисточника,

галактического фона и шумов), зарегистрированный на выходе радиометра (рис. 1а), оцифровывался 10-разрядным аналого-цифровым преобразователем с временным разрешением 0.01с и вводился в компьютер в виде последовательной записи данных в отдельный иницилируемый текстовый файл. По второму параллельному каналу записывались метки времени. Такая регистрация позволяла с большой степенью точности учитывать фазовый сдвиг при последующей обработке результатов измерений. Дальнейшая обработка данных производилась с помощью программы "Origin-6", которая имеет встроенные функции Фурье-анализа, расширенные математические возможности для построения узкополосных цифровых фильтров, настраиваемых на частоту гармоник. Процесс цифровой

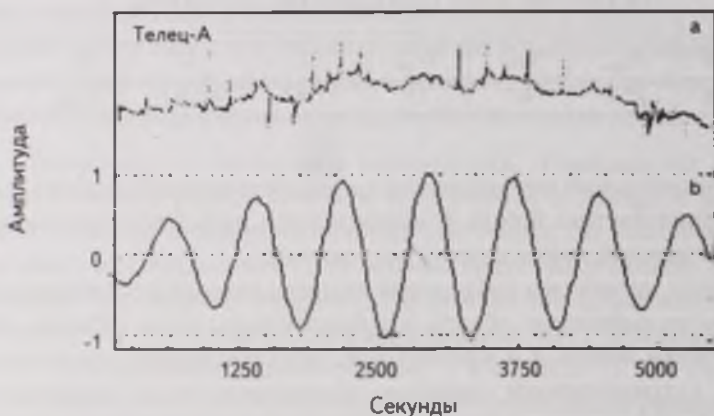


Рис. 1. ИГ радиисточника Телец-А до (а) и после (б) цифрового узкополосного частотного фильтра.

частотной фильтрации происходит примерно по следующей схеме. Из регистрированного (после детектора) аналогового сигнала (рис. 1а) с помощью полинома N -й степени выделяется фоновое излучение, которое затем вычитывается. Далее для ИГ источника строится частотный спектр мощности и определяются параметры полосового фильтра F и ΔF .

Результаты цифровой фильтрации дали возможность выявить слабый полезный сигнал на фоне шумов и радиопомех. Почти незаметная интерференционная гармоника радиисточника Телец-А после цифровой фильтрации четко выделяется на уровне более сильного фонового излучения Галактики, шумов и помех (рис. 1б). Хорошо выделяются даже далекие от центра боковые лепестки ИГ, которые не заметны до фильтрации.

Это свидетельствует о том, что радиисточники, имеющие на порядок меньшую интенсивность, чем Телец-А, можно наблюдать с помощью

радиоинтерферометров, имеющих малые эффективные площади антенн.

3.3. Степенная фильтрация. Степенной цифровой фильтр усиливает переменную составляющую зарегистрированного после детектора сигнала космического радиоисточника, в данном случае - его пространственную гармонику. При этом, чем больше ее амплитуда, тем больше она усиливается, соответственно улучшается избирательность системы.

Представим интерферированную запись космического излучения (сигнал дискретного источника, галактического фона и шумов) в виде цифровой последовательности во времени и введем ее в память ЭВМ. Умножим каждый член $P(t)$ последовательности $P_i(t)$, соответственно, на степенной множитель, например, $\exp - \{(P_m - P_i(t))/P_m\}$ (за основание можно взять любое целое число), и запишем ее в виде новой последовательности во времени: $P(t) = P_i(t) \exp - \{(P_m - P_i(t))/P_m\}$, где P_m - член последовательности $P_i(t)$ с максимальным значением.

Очевидно, что в результате такого преобразования получится отфильтрованное значение переменной составляющей последовательности. Это хорошо видно на примере фильтрации интерференционной записи сигнала радиоисточника Лебедь-А (рис.2б), который, как известно, находится в области сильного фоновое галактического излучения (рис.2а).

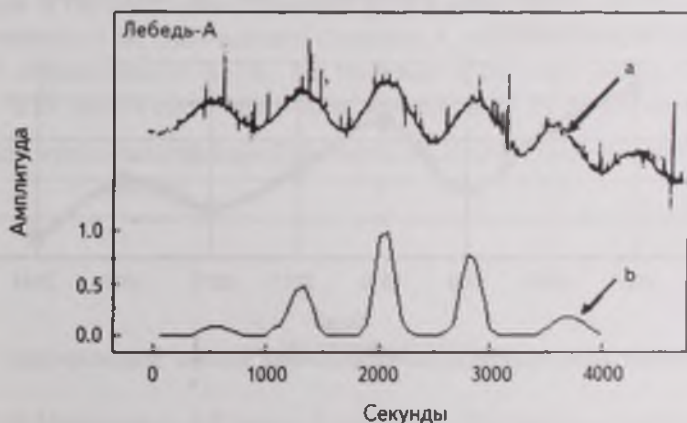


Рис.2. ИГ радиоисточника Лебедь-А до (а) и после (б) степенного цифрового фильтра.

4. Результаты. Исходя из данных записей, определялось отношение $\sigma = T_K / T_L$, где T_K и T_L - зарегистрированные антенные температуры радиоисточников Кассиопея-А и Лебедь-А. В табл.2 приведены данные вычислений среднегодовых значений σ_T .

Таблица 2

СРЕДНЕГОДОВЫЕ (σ_r) ЗНАЧЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ ПОТОКОВ
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ КАССИОПЕЯ-А/ЛЕБЕДЬ-А ЗА 2007-2014гг.

Год	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
σ_r	1.028	1.008	0.975	1.01	0.985	0.965	0.98	0.93

Подробный анализ данных таблицы и сравнение их с результатами предыдущих периодов наблюдений, которые, на наш взгляд, являются достаточно однородными и непрерывными за долгий период времени, показывают временную периодичность в переменности излучения Кассиопеи-А, а случайные отклонения могут быть связаны с процессами, протекающими внутри источника, и условиями распространения радиоволн в межзвездной и околоземной средах.

На графике среднегодовых значений периода 2007-2014гг. (рис.3) просматривается кривая со слабым, около 2.7-3 года, периодом изменений σ (жирная линия), однако ее амплитуда меньше значений среднемесячных колебаний σ (на последних эта периодичность не замечается). Надо отметить, что если приведенную кривую считать частью ожидаемой периодической кривой, то данные измерений, полученные нами за 2001-2006гг. с ней удовлетворительно совпадают.



Рис.3. Вариация среднегодового значения отношения потоков радиоизлучения.

5. Заключение. Ошибки измерений при всех сериях наблюдений практически были одинаковыми ($\Delta\sigma \leq 0.025$), так как за указанный период не менялись ни длина волны, ни инструмент, ни методы приема и регистрации излучения, поэтому их влияние на результаты анализа данных наблюдений не могло иметь существенного значения.

Оказалось, что в этот период интенсивность радиоизлучения Кассиопеи-А уменьшалась примерно со среднегодовой скоростью 0.55%, а из результатов

среднегодовых значений потока радиоизлучения периода 2007-2015 гг. просматривается кривая со слабым, около 2.7-3 года, периодом изменений.

¹ Национальная академия наук РА

² Институт радиофизики и электроники НАН РА, Армения.
e-mail: pirham9@gmail.com

VARIATION IN THE RADIO FLUX DENSITY OF CASSIOPEIA-A DURING THE PERIOD 2007-2015

R.M.MARTIROSYAN¹, A.G.GULYAN², G.A.PIRUMYAN²,
S.A.SARGSYAN², G.S.SAVETISYAN²

In this work, on the base of results from regular radio-astronomical observations (2007-2015) conducted in the scientific polygon "Saravand" at Institute of Radiophysics and Electronics NAS RA, we discuss the character of yearly average changes of the radio-emission intensity, and also the validity of the periodicity of flux changes of the radio source Cassiopeia A. It is shown that during the given period the intensity of the radio-emission Cassiopeia A. decreased approximately with the yearly average speed of 0.55%, but the results of the yearly average of the period 2007-2015, show a curve with weaker, approximately 2.7-3 years period's change.

Key words: *radiotelescope: radio astronomical observations: periodicity: numerical analysis*

ЛИТЕРАТУРА

1. Р.М.Мартirosян, А.Г.Гулян, В.А.Санамян, Г.А.Пирумян, *Астрофизика*, **50**, 253, 2007, (*Astrophysics*, **50**, 203, 2007).
2. И.С.Шкловский, *Астрон. ж.*, **37**, 256, 1960.
3. L.M.Hook, P.J.Duffett-Smith, J.R.Shakeshaft, *Astron. Astrophys.*, **255**, 285, 1992.
4. M.A.Agueros, D.A.Green, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **305**, 957, 1999.
5. А.Н.Барабанов, В.П.Иванов, К.С.Станкевич, С.П.Столяров, *Астрон. ж.*, **63**, 296, 1986.

