

Переменность радиоизлучения остатков сверхновых и возможные механизмы явления.

В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева
Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия



Введение

Исследовались спектры плерионов и комбинированных остатков сверхновых (ОСН): 3С58 [1], 3С144 [2], G11.2-0.3 [3], G21.5-0.9 [4], 3С396 [5] и их переменность на различных шкалах времени. Текущие спектры определены в шкале потоков "искусственная луна" для разных эпох.

Результаты

Плотности потоков Крабовидной туманности (3С144) уменьшались со скоростью $(1/S) \cdot (dS/dt) = (-0.159 \pm 0.024) \%$ / год, не зависящей от частоты [2].

Средняя скорость изменения потока ОСН G11.2-0.3 на временном интервале 1967 – 2000г. зависела от частоты: рост потока наблюдался на частотах ниже 10 ГГц, на более высоких частотах поток падал [3]. (рис.1).

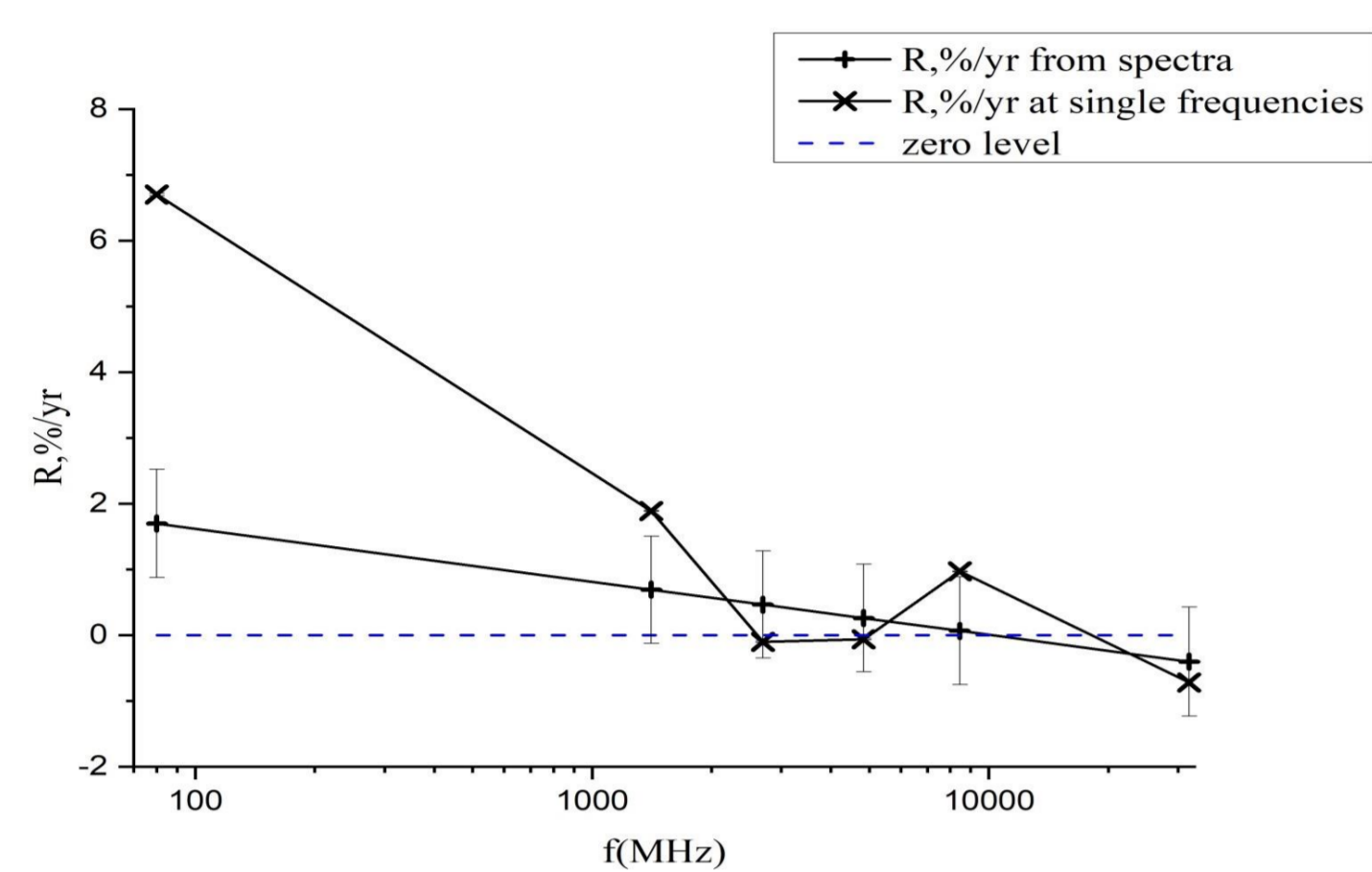


Рис. 1. Скорости изменения потоков ОСН G11.2-0.3, определенные по текущим спектрам и по измерениям на одной частоте [3].

В текущих спектрах всех перечисленных ОСН обнаружены нестационарные "избытки" и "провалы" плотностей потоков, ограниченные по времени (от долей года до нескольких лет) и полосе частот с последующим их восстановлением до исходного уровня. В эпоху 2013.2 аномалия в виде "избытка" в спектре 3С58 была обнаружена при измерениях на радиотелескопе РТ – 32 на частотах $f = (1550 \div 8450)$ МГц [1].

Текущие спектры ОСН 3С58 S1, S2 и S3 измерены на волнах $\lambda = (18\text{см}, 13\text{см}, 6.2\text{см}$ и $3.5\text{см})$ [1] (рис.2)..

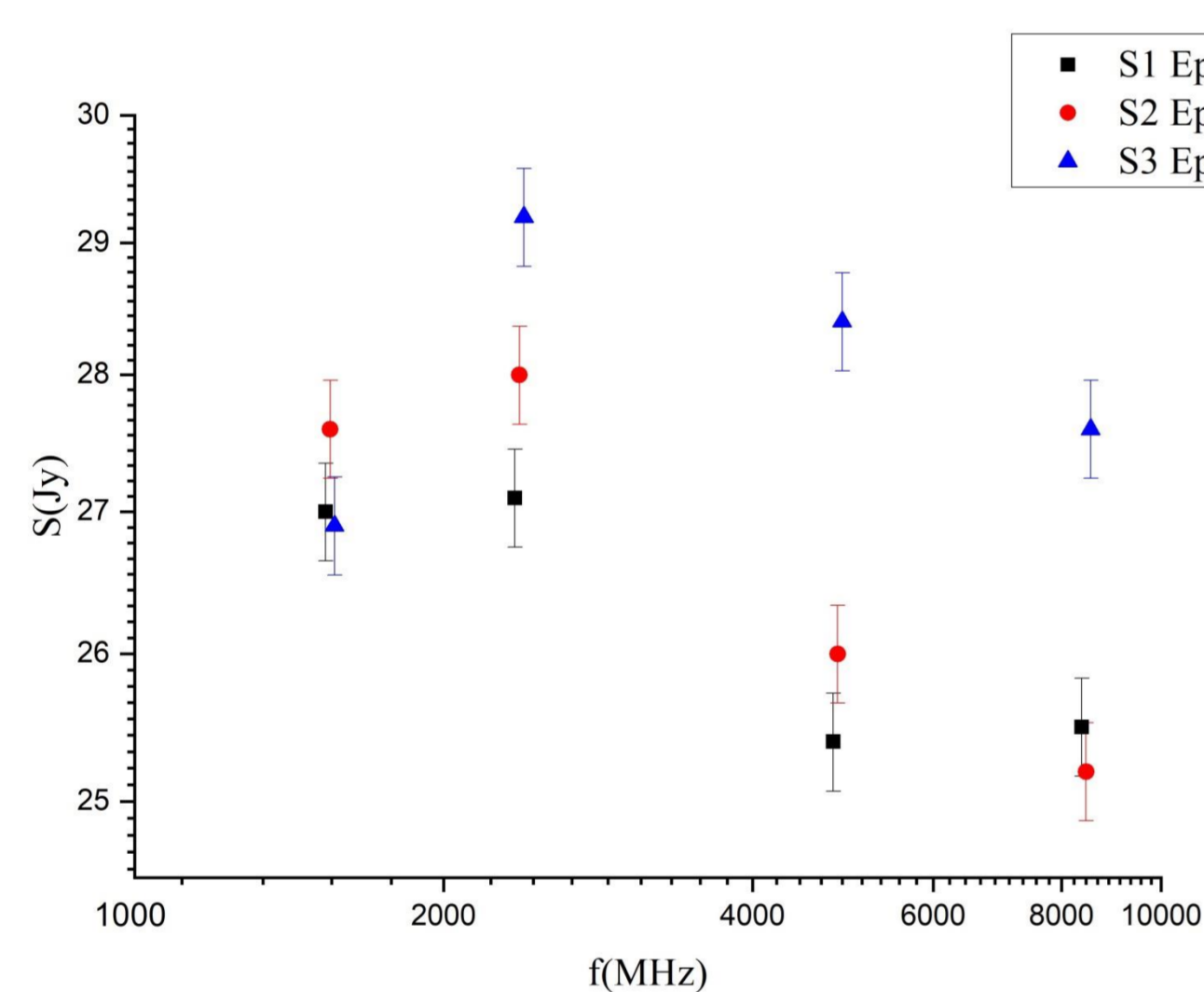


Рис. 2. Спектры 3С58: S1 - спектр 2003.4; S2 - спектр 2004.4; S3 - спектр 2013.2; [1]

Развитие аномалии в спектре ОСН 3С58 после эпохи 2013.2 определено из дальнейших наблюдений на РТ-32 на волнах $\lambda = 13\text{см}$; 6.2см ; и 3.5см . На рис. 3 приведены распределения во времени отношений S/S_b , а также аппроксимация этих распределений квадратичными полиномами на частотах измерений. Обозначено: S – измеренные плотности потоков, S_b – плотности потоков базового (невозмущенного) спектра 3С58 по данным за 1981 – 2003 г. на частотах наблюдений [1].

Текущие спектры 3С58 в широком диапазоне частот определены по опубликованным данным, приведенным к шкале потоков ИЛ.[1] Текущий спектр, включающий данные измерений в интервале времени между эпохами 1963.4 – 1970.9 (рис.4), содержит три точки со значимыми отклонениями ΔS от среднего спектра. Это плотности потоков на частотах: 178 МГц ($\Delta S = -4.5\sigma$), эпоха 1964.9, 408 МГц ($\Delta S = -3.1\sigma$), эпоха 1967.9 и 5000 МГц ($\Delta S = -2.7\sigma$), эпоха 1967.1. Отклонения не объясняются случайными ошибками измерений, они ограничены по времени и частотным интервалам.

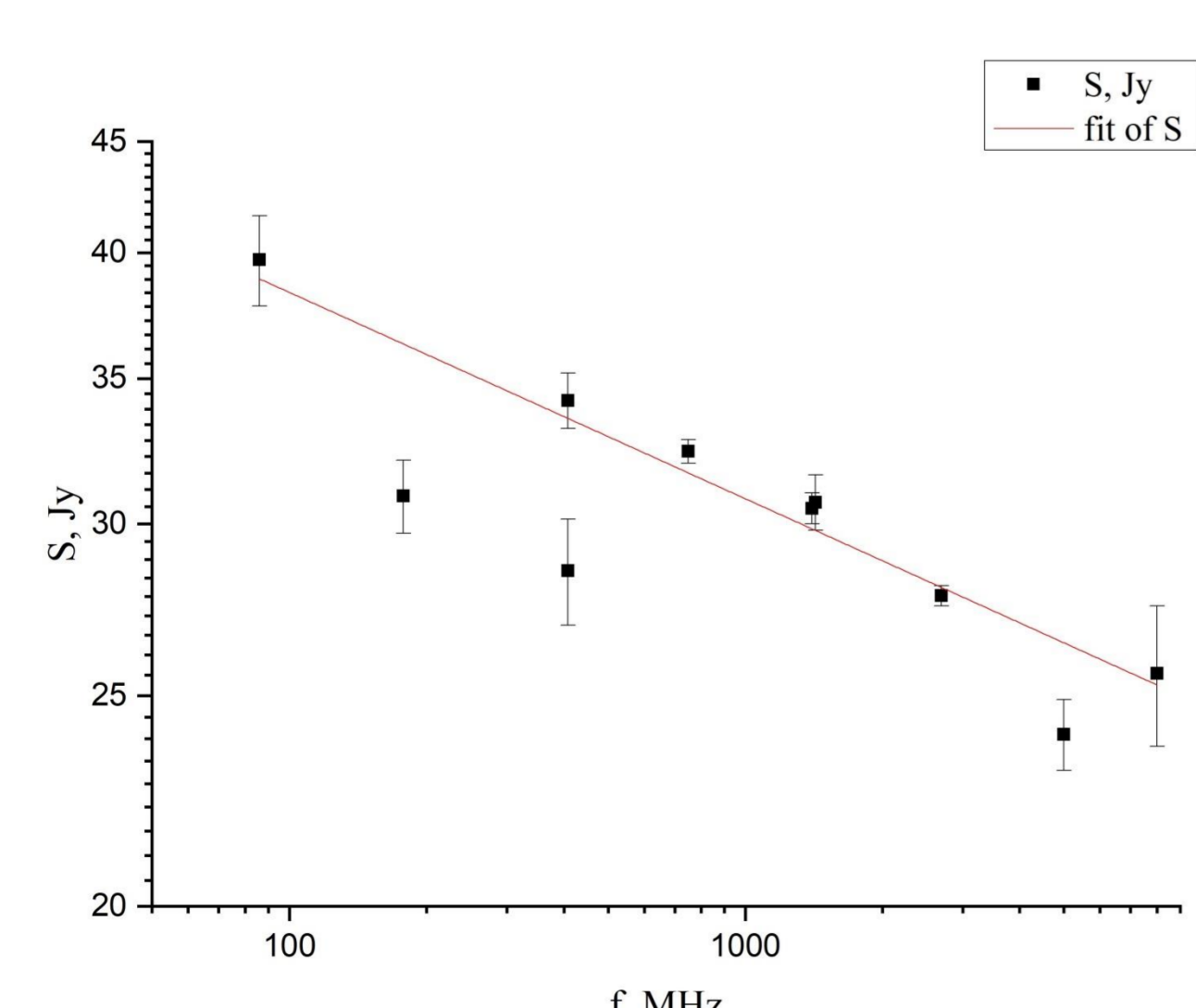


Рис. 4 Текущий спектр ОСН 3С58 по данным измерений между эпохами 1963.4 – 1970.9

Эволюционные изменения происходили на фоне более быстрых вариаций потоков в ограниченных частотных интервалах. Быстрые нестационарные изменения плотностей потоков 3С58, G11.2-0.3, G21.5-0.9, 3С396 обнаружены по данным наблюдений ОСН на радиотелескопе РТ-32 обсерватории «Светлое» ИПА РАН, а также по опубликованным данным, приведенным к шкале потоков ИЛ.

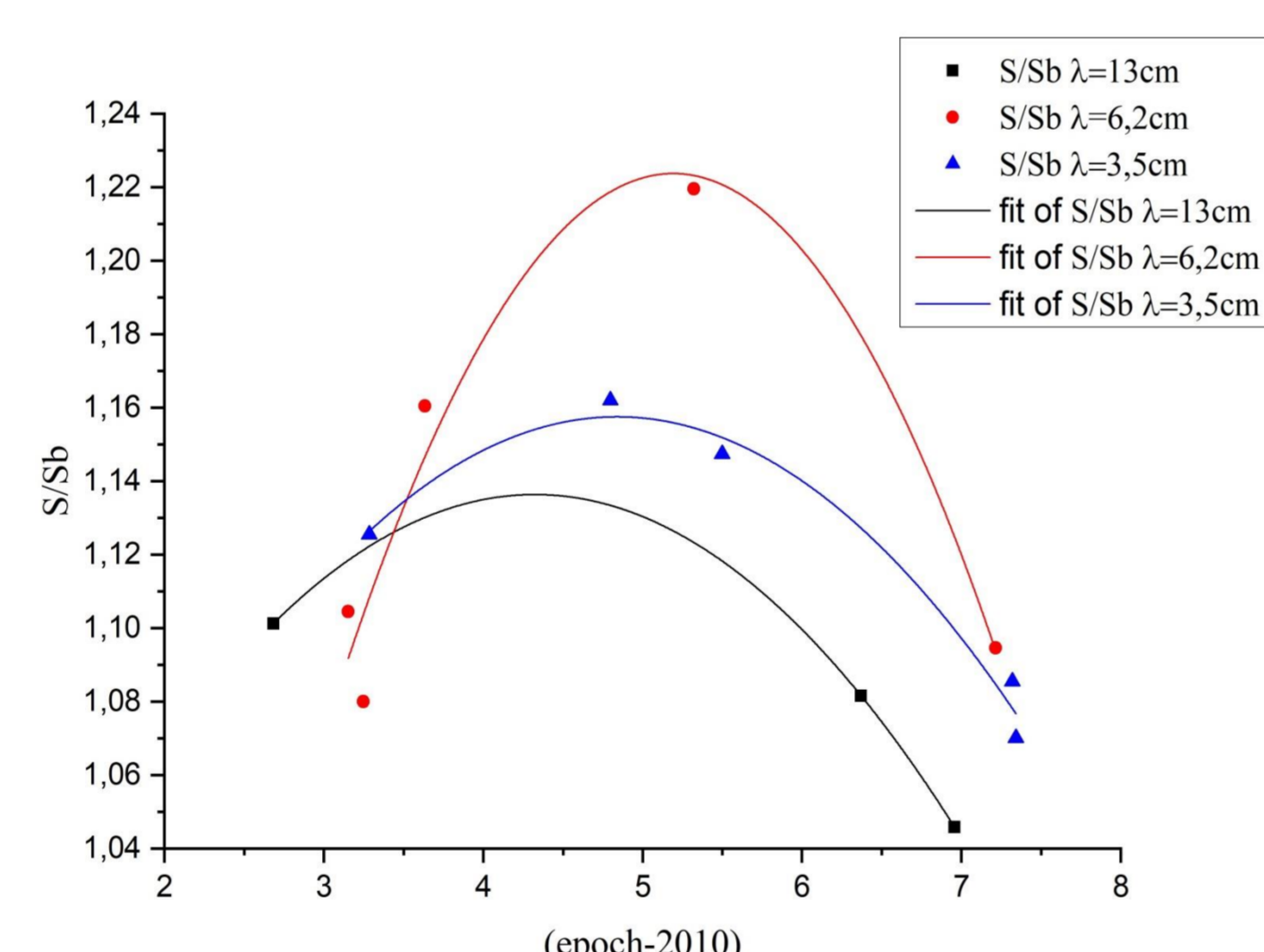


Рис. 3. Распределения во времени отношений S/S_b ОСН 3С58, а также аппроксимация этих распределений квадратичными полиномами на частотах измерений.

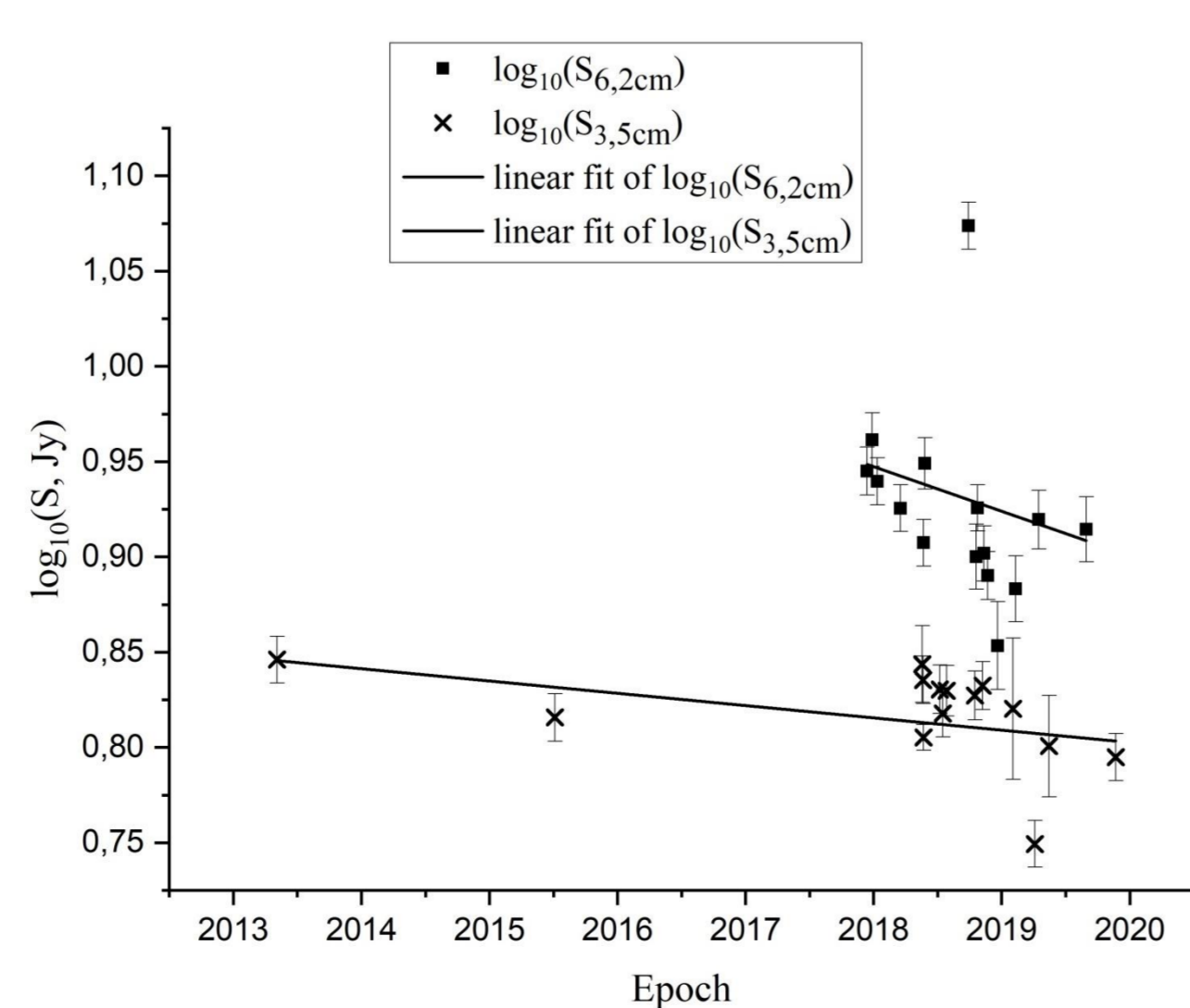


Рис. 5 Плотности потоков ОСН G11.2-0.3 по данным измерений РТ-32 на волнах $\lambda = (6.2$ и $3.5)$ см [3]

На рис.5 представлены данные измерений плотностей потоков ОСН G11.2-0.3 на радиотелескопе РТ-32 на волнах $\lambda = (6.2$ и $3.5)$ см в 2013 – 2019г. [3]. В указанном временном интервале плотности потоков на обеих частотах уменьшались, при наличии значимых быстрых отклонений текущих значений $\log S$ от средних зависимостей. Наибольшие отклонения $\log S$ от средних значений наблюдались на волне $\lambda = 6.2$ см в эпохи 2018.74 ($+11.7\sigma$) и 2018.97 (-3.1σ) и на волне $\lambda = 3.5$ см в эпоху 2019.26 (-5.2σ)

Измерения плотностей потоков ОСН 3С396 на радиотелескопе РТ-32 выполнены на частотах: (4840 и 8450) МГц между декабрем 2017 г. и июнем 2018 г. [5] На обеих частотах измерения повторялись с целью выявления изменений в излучении источника. Плотности потоков 3С396, определённые на частотах 4840 МГц и 8450 МГц между эпохами 2017.95 - 2018.52 в шкале потоков ИЛ, приведены на рис. 6.

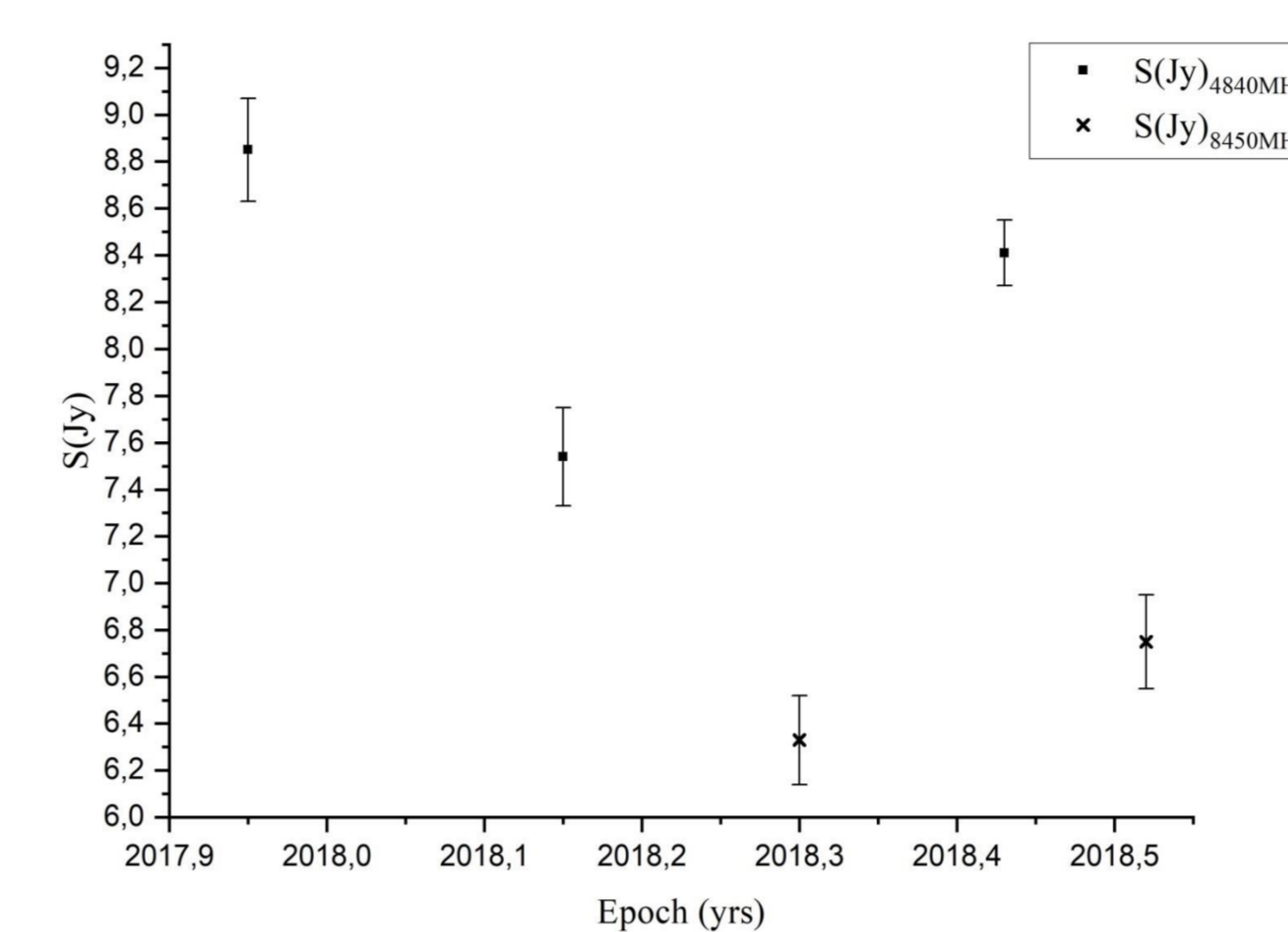


Рис. 6 Распределение во времени плотностей потоков ОСН 3С396, измеренных на радиотелескопе РТ-32 на частотах $f = 4840$ МГц и $f = 8450$ МГц

Спектр 3С396 в широком диапазоне частот определен по опубликованным данным, приведенным к шкале потоков ИЛ и по измерениям РТ-32. Спектр, включающий данные измерений в интервале времени между эпохами 1962 – 2018.5 (Рис.6), содержит точки со значимыми отклонениями ΔS от среднего спектра. [5] Велики отклонения плотностей потоков на частотах: 5000 МГц ($\Delta S = -4\sigma$), эпоха 1971.1, 10630 МГц ($\Delta S = -3.1\sigma$), эпоха 1974.3, 8350 МГц ($\Delta S = 10.5\sigma$), эпоха 1998.7, и 14350 МГц ($\Delta S = 11.6\sigma$), эпоха 1998.7.

В течение 0.2 года между эпохами 2017.95 - 2018.15, плотность потока на частоте 4840 МГц упала на 17% (5σ), а к эпохе 2018.43 вновь возросла на 12% от минимального уровня. На частоте 8450 МГц между эпохами 2018.3 и 2018.5 плотность потока возросла на 6.5%. На временном интервале 2018.1 - 2018.5 плотности потоков росли как на частоте 4840 МГц, так и на 8450 МГц, но разными темпами: в последнем случае относительное приращение вдвое меньше. Таким образом, в радиоизлучении 3С396 присутствует переменная составляющая, зависящая от частоты.

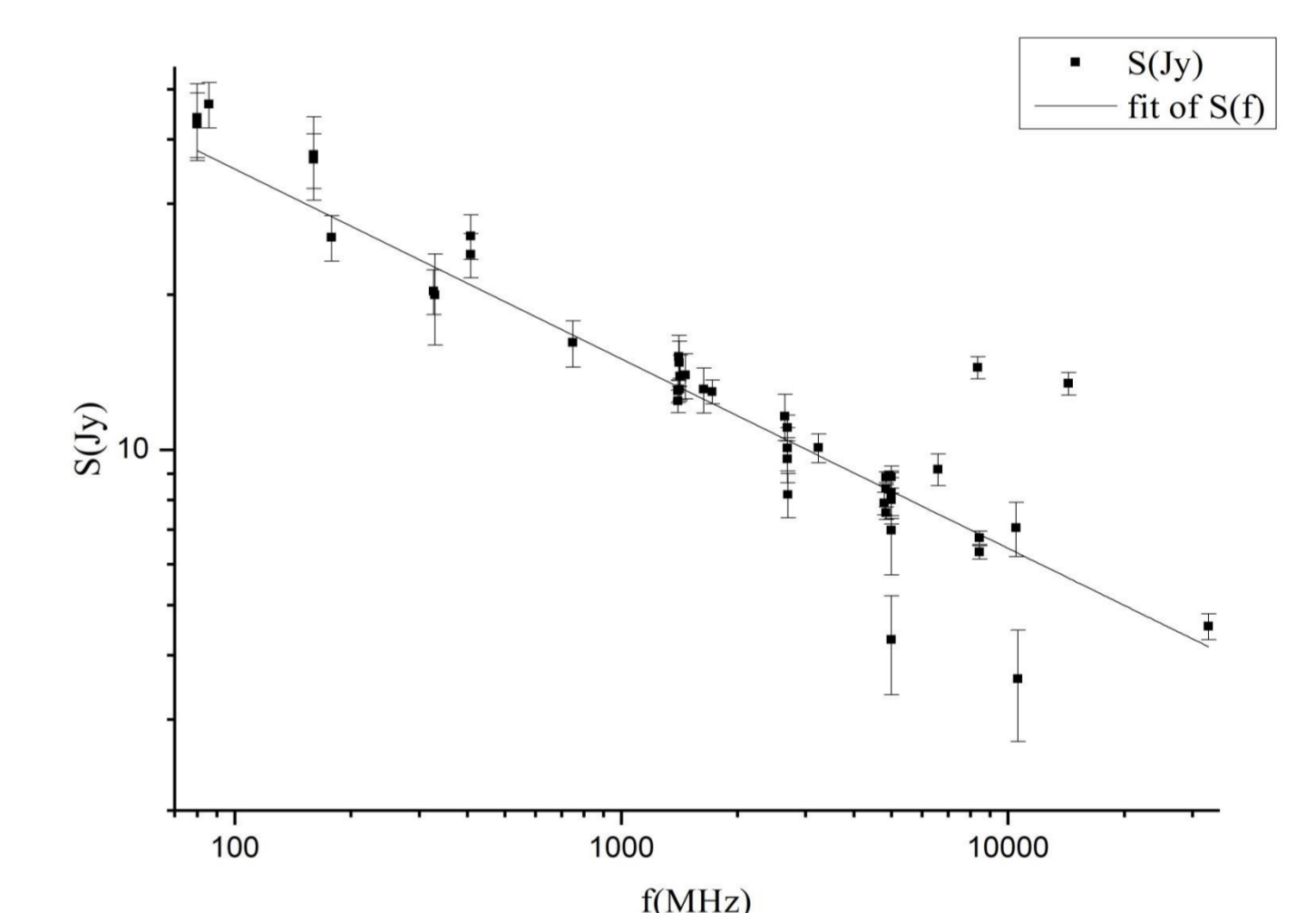


Рис. 7. Спектр ОСН 3С396 по данным измерений между эпохами 1962 – 2018.5 Отклонения $>3\sigma$ не объясняются случайными ошибками измерений, они ограничены по времени и частотным интервалам.

Выводы

Из обзора наблюдений пяти остатков сверхновых, плерионов и содержащих плерионы (классы F и C), следует, что характерной чертой их радиоизлучения являются нестационарные изменения интенсивности в ограниченных частотных и временных интервалах.

Сценарий явления состоит в быстром нарастании интенсивности в ограниченной полосе частот с последующим спадом до уровня ниже исходного и далее возвратом на исходный невозмущенный уровень. Процесс во многом напоминает солнечные вспышки, многократно усиленные по мощности и продолжительности. В качестве возможного механизма нестационарной переменности ОСН мы рассматриваем пересоединение магнитных силовых линий в магнитосферах пульсаров. Этот механизм может объяснить накопление энергии и ее быстрое выделение в результате неустойчивости. В процессе вспышки происходит нагрев плазмы, ускорение заряженных частиц и выделение энергии в виде электромагнитного излучения в широком спектре, от радио до жесткого рентгена. В этих условиях может наблюдаться не только усиление радиоизлучения из области вспышки, но и образование объема ионизированного водорода, т. е. области HII с тепловым спектром радиоизлучения. При этом может наблюдаться появление рекомбинационных линий, а также вспышка в оптике и в рентгене. Информация о наблюдениях в ОСН перечисленных эффектов отсутствует..

Литература

1. В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева, *Astrophysical Bulletin*, 74, 128 (2019)
2. В. П. Иванов, К. С. Станкевич, С. П. Столяров, *Астрон. журн.* 71, 737 (1994).
3. V. P. Ivanov, A. V. Ipatov, I. A. Rahimov, T. S. Andreeva, *Astronomy Reports*, 65, 645 (2021).
4. В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, С. А. Гренков, Т. С. Андреева, *Астрон ж*, 96, 628 (2019) G21.5-0.9
5. В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева, *Астрон. ж.*, 97, 619 (2020)