

## РАДИОАСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА

УДК 523.164.42

Н. Н. КАЛИНИЧЕНКО

Радиоастрономический институт НАН Украины,  
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина  
kalinich@rian.kharkov.ua

### ПОИСК КОМПАКТНОЙ МЕРЦАЮЩЕЙ КОМПОНЕНТЫ В ОСН ЗС58 В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

*Путем наблюдений межпланетных мерцаний с рекордной для декаметрового диапазона длин волн чувствительностью установлена верхняя граница потока непрерывного радиоизлучения компактного источника в ОСН ЗС58 на уровне  $(2.7 \pm 0.9)$  Ян. Поскольку чувствительность наблюдений позволяет регистрировать поток, который следовало бы ожидать в декаметровом диапазоне длин волн при спектральном индексе  $\alpha \approx 2.8$  (имеющем место на частотах выше 100 МГц), отсутствие регистрации излучения компактного источника объясняется меньшим значением спектрального индекса на низких частотах (наличием излома в спектре радиоизлучения).*

*Ключевые слова:* остаток сверхновой, звездный остаток, межпланетные мерцания, декаметровый диапазон

#### 1. Введение

“Крабовидный” остаток сверхновой (ОСН) ЗС58 (G130.7+3.1 в каталоге Green Catalog of Supernova Remnants) с координатами центра  $\alpha_{2000} = 02^h 05^m 41^s$ ,  $\delta_{200} = 64^\circ 49'$  впервые был обнаружен на радиочастотах [1], а затем идентифицирован в оптическом диапазоне по наблюдениям в линии излучения  $H_\alpha$  [2]. Есть много общего между ОСН ЗС58 и ОСН Крабовидная туманность (ЗС144). Как и Крабовидная туманность, ОСН ЗС58 выглядит как аморфная изрезанная волокнами туманность с максимумом яркости в центре – плерион [3]. Близки расстояния от Земли до обоих остатков, а также их угловые размеры (2 кпк,  $6' \times 4'$  и 2.6 кпк,  $6' \times 9'$  соответственно). ОСН ЗС58 многими исследователями ассоциируется с исторической сверхновой 1181 г. [4], т. е. считается очень молодым остатком (832 года). Однако этот вопрос пока не выяснен до конца. Так, радиальная скорость волокон ОСН ЗС58 в радио- [3] и оптическом [5] диапазонах в два раза меньше соответствующей скорости волокон Крабовидной туманности, что требует принятия предположений либо о большем возрасте остатка ЗС58, либо о значительно более слабом взрыве, приведшем к его образованию, либо о наличии дополнительного замедления

вследствие взаимодействия с окружающей межзвездной средой. Что кардинально отличает два рассматриваемых ОСН, так это большая разница в мощности излучения во всех диапазонах волн. Крабовидная туманность – это один из самых мощных источников космического излучения в радио-, оптическом и рентгеновском диапазонах. ОСН ЗС58 слабее в десятки раз в радиодиапазоне (на частотах выше 100 МГц) и в тысячи раз в рентгеновском диапазоне. Излучение пульсара J0205+64 (период вращения 66 мс) в центре ОСН ЗС58 слабее излучения пульсара J0535+22 (период вращения 33 мс) в ОСН Крабовидная туманность в 530 и 250 раз на частотах 111 и 1375 МГц соответственно [6, 7].

Разгадать природу столь уникального объекта, каким является ОСН ЗС58, возможно лишь с помощью новых измерений с высокой чувствительностью во всех частотных диапазонах. Так, измерения в декаметровом диапазоне радиоволн позволили бы доказать или опровергнуть наличие гало вокруг ОСН ЗС58, которое, вероятно, возникло бы, если бы имело место существенное торможение остатка при взаимодействии с окружающим межзвездным газом. К сожалению, несмотря на сравнительно большое предсказываемое значение потока излучения, порядка 45 Ян, в предположении отсутствия завала на низких частотах (в диапазоне от 74 МГц до 327 МГц

спектральный индекс составляет 0.05), ОСН ЗС58 не был обнаружен при измерениях на радиотелескопе УТР-2 в режиме обзора неба на фиксированных частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц с полосой приема на каждой частоте 10 кГц [8]. Исключительную важность представляют исследования компактного радиоисточника в центре ОСН ЗС58, который ассоциируется со звездным остатком – пульсаром, и является источником, накапливающим энергию окружающую пульсарную туманность. Такие компактные радиоисточники можно обнаружить с помощью метода межпланетных мерцаний [9]. В работе [10] сообщалось о регистрации излучения компактного мерцающего радиоисточника в ОСН ЗС58 на частоте 102 МГц с потоком  $(1 \pm 0.5)$  Ян. Другие авторы не подтвердили наличие мерцающего радиоисточника в этом ОСН на частоте 81.5 МГц [11]. Возможно, это говорит об увеличении угловых размеров компактного источника вследствие рассеяния на неоднородностях среды. На декаметровых радиоволнах ОСН ЗС58 не исследовался методом межпланетных мерцаний.

Цель настоящей работы – попытка экспериментально обнаружить компактный радиоисточник в ОСН ЗС58 по наблюдениям межпланетных мерцаний в декаметровом диапазоне длин волн. Поскольку такой радиоисточник должен быть достаточно слабым (с потоком излучения порядка 4 Ян, если предположить, что спектральный индекс  $\alpha \approx 2.8$ , определенный на частотах выше 100 МГц, остается неизменным и в декаметровом диапазоне длин волн), особое внимание будет уделено реализации рекордной для наблюдений межпланетных мерцаний эффективной полосы приема порядка 7 МГц.

## 2. Методика поиска компактных радиоисточников

Рассеяние радиоизлучения компактных космических радиоисточников неоднородностями межпланетной плазмы приводит к образованию на поверхности Земли пространственных флуктуаций интенсивности, дифракционной картины. Движение неоднородностей межпланетной плазмы трансформирует дифракционную картину во временные флуктуации интенсивности, известные как межпланетные мерцания. Наблюдения межпланетных мерцаний позволяют получать информацию

о характеристиках межпланетной плазмы и оценивать параметры излучающего радиоисточника [9]. При решении задач поиска компактных радиоисточников в декаметровом диапазоне длин волн и оценки их угловых размеров наиболее удобно применять анализ энергетического спектра мерцаний.

Типичный энергетический спектр мерцаний компактного космического радиоисточника в декаметровом диапазоне длин волн  $P(\nu)$  приведен на рис. 1. Он представляет собой сумму трех спектров:

$$P(\nu) = P_{\text{ми}}(\nu) + P_{\text{мп}}(\nu) + P_{\text{ш}}(\nu),$$

где  $P_{\text{ми}}$  – вклад ионосферы;  $P_{\text{мп}}$  – вклад межпланетной среды;  $P_{\text{ш}}$  – спектр шума, включающий вклад протяженной немерцающей компоненты;  $\nu$  – флуктуационная частота. На горизонтальной оси отмечены важные частоты энергетического спектра мерцаний:  $\nu_{\text{п\_ми}}$  – частота перегиба спектра ионосферных мерцаний ( $\sim 0.005 \div 0.02$  Гц);  $\nu_{\text{п\_мп}}$  – частота перегиба спектра межпланетных мерцаний ( $\sim 0.1 \div 0.3$  Гц);  $\nu_{\text{р1}}$  и  $\nu_{\text{р2}}$  – частоты, на которых спектральная плотность межпланетных мерцаний становится равной спектральной плотности ионосферных мерцаний и спектральной плотности шума соответственно ( $0.02 \div 0.04$  и  $1 \div 3$  Гц). Разница в ширинах спектров ионосферных и межпланетных мерцаний достаточно велика, чтобы эти спектры могли быть изучены каждый по отдельности [12, 13].

Представляет интерес оценка углового размера первой зоны Френеля  $\theta_F$  для межпланетной

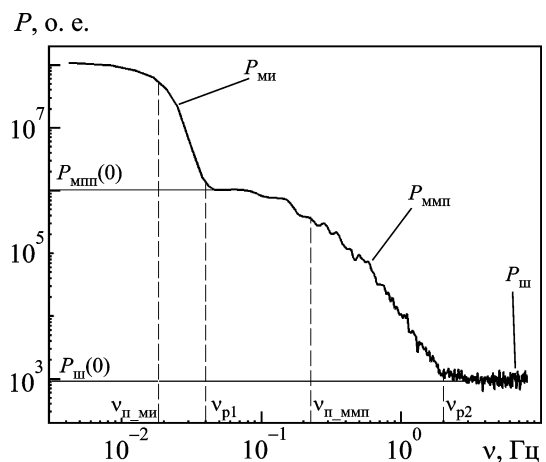


Рис. 1. Типичный спектр мерцаний компактного космического радиоисточника в декаметровом диапазоне длин волн

среды и ионосферы Земли в интересующем диапазоне рабочих частот. Значение  $\theta_F$  определяет будет или нет радиисточник мерцать на неоднородностях указанных сред,

$$\theta_F = \frac{1}{\sqrt{k_0 z}}, \quad (1)$$

где  $k_0 = 2\pi/\lambda$  – волновое число,  $\lambda$  – длина волны излучения;  $z$  – расстояние до рассеивающего слоя. Для  $z = 1$  а. е. (межпланетная среда) и  $\lambda = 12$  м выражение (1) дает  $\theta_F \approx 5''$ , а для ионосферы ( $z = 350$  км) –  $\theta_F \approx 50'$ .

В связи с этим возможна реализация трех случаев:

1. Спектр  $P(\nu)$  плоский. Это значит, что радиисточник не содержит какой-либо детали с угловым размером  $\theta < 50'$ .

2. Спектр  $P(\nu)$  содержит только части  $P_{\text{мп}}$  и  $P_{\text{ш}}$ . Это означает, что угловые размеры радиисточника находятся в пределах  $5'' < \theta < 50'$ .

3. Радиисточник, в спектре которого присутствует компонента  $P_{\text{мп}}$  (другими словами, присутствуют флуктуации с частотой  $\nu > \nu_{p1}$ ), имеет угловые размеры меньше  $5''$ . В случае ОСН ЗС58 такой радиисточник с высокой вероятностью может быть звездным остатком взрыва сверхновой, и он является целью настоящего поиска.

Оценим чувствительность поиска. Для этого энергетические спектры межпланетных мерцаний  $P_{\text{мп}}$  и шума  $P_{\text{ш}}$  аппроксимируем степенной функцией вида

$$P_{\text{мп, ш}}(\nu) = \left( 1 + \left( \frac{\nu}{\nu_{\text{п\_мп, ш}}} \right)^{\alpha_{\text{мп, ш}}} \right)^{-1}. \quad (2)$$

Для аддитивного шума  $\alpha_{\text{ш}} = 2$  и  $\nu_{\text{п\_ш}} = \frac{1}{2\pi\tau}$ ,  $\tau$  – постоянная времени РС интегратора. Для межпланетных мерцаний  $\alpha_{\text{мп}} = 2 \div 4$ ,  $\nu_{\text{п\_мп}} \approx 0.2$  Гц (среднее значение). Тогда с учетом (2) несложно получить выражение для динамического диапазона спектра мерцаний:

$$\frac{P_{\text{мп}}(0)}{P_{\text{ш}}(0)} = \gamma \frac{\sigma_{\text{мп}}^2}{\sigma_{\text{ш}}^2} \frac{\nu_{\text{п\_ш}}}{\nu_{\text{п\_мп}}} = \frac{\gamma}{2\pi\tau\nu_{\text{п\_мп}}} \frac{\sigma_{\text{мп}}^2}{\sigma_{\text{ш}}^2},$$

где значение коэффициента  $\gamma$  изменяется в пределах  $1.1 \div 1.4$  в зависимости от крутизны спектра межпланетных мерцаний.

Используя известные выражения для дисперсии межпланетных мерцаний,  $\sigma_{\text{мп}}^2 = \frac{m^2 S^2 A_{\text{эф}}^2}{k^2}$ , и дисперсии шума,  $\sigma_{\text{ш}}^2 = \frac{T_{\text{сист}}^2}{\Delta f \tau}$  ( $k$  – постоянная Больцмана,  $A_{\text{эф}}$  – эффективная площадь радиотелескопа УТР-2,  $S$  – спектральная плотность потока радиисточника,  $m$  – индекс мерцаний,  $T_{\text{сист}}$  – шумовая температура системы,  $\Delta f$  – полоса пропускания радиометра), получим

$$\frac{P_{\text{мп}}(0)}{P_{\text{ш}}(0)} = \gamma \frac{m^2 S^2 A_{\text{эф}}^2 \Delta f}{k^2 T_{\text{сист}}^2 2\pi\nu_{\text{п\_мп}}}.$$

Обозначив  $P_{\text{мп}}(0)/P_{\text{ш}}(0)$  через  $\beta$  и полагая  $\gamma = 1.3$  (среднее значение), получим формулу для оценки минимальной плотности потока, которая может быть обнаружена в процессе нашего поиска:

$$S_{\text{мин}} = \frac{kT_{\text{сист}}}{mA_{\text{эф}}} \sqrt{\frac{\nu_{\text{п\_мп}}}{\Delta f}} \sqrt{\frac{\beta}{0.052}}.$$

При  $A_{\text{эф}} = 1.5 \cdot 10^5$  м<sup>2</sup> (режим перемножения),  $m = 0.1$ ,  $T_{\text{сист}} = 3.8 \cdot 10^4$  К (для средней частоты  $f = 24.8$  МГц полосы рабочих частот),  $\Delta f = 7$  МГц,  $\nu_{\text{п\_мп}} = 0.2$  Гц и  $\beta = 1.1$  минимальная плотность потока  $S_{\text{мин}} \approx (2.7 \pm 0.9)$  Ян.

### 3. Наблюдения

Поиск компактного мерцающего радиисточника в ОСН ЗС58 проводился на радиотелескопе УТР-2 (пос. Граково, Харьковской области) [14]. Широкополосный (8 ÷ 32 МГц) Т-образный радиотелескоп УТР-2 состоит из двух антенных решеток: “С–Ю” (направление север – юг) и “З–В” (направление запад – восток), – и имеет в настоящее время наибольшую эффективную площадь, а следовательно, обеспечивает наилучшую чувствительность в указанном диапазоне частот, что является ключевым вопросом при решении поставленной задачи. Наблюдения были проведены двумя сессиями с 24 по 31 января и с 14 по 21 февраля 2011 г. на элонгациях  $90^\circ \div 100^\circ$ . В этом диапазоне углов между направлением на Солнце

и направлением на радиисточник индекс межпланетных мерцаний декаметрового радиоизлучения достигает своего максимума [15, 16].

ОСН ЗС58 наблюдался в интервале часовых углов  $\pm 1^h$  вблизи верхней кульминации сканами по 4 мин. Дополнительно, для сравнения получаемых результатов, до и после окончания наблюдений ОСН ЗС58 велась запись сигналов радиисточника ЗС47 и ОСН Крабовидная туманность. Данные регистрировались цифровым спектральным анализатором DSP-z [17]. Этот широкополосный ( $\Delta f = 32$  МГц) цифровой спектральный анализатор имеет большой динамический диапазон (более 70 дБ) и позволяет в режиме спектроанализатора путем преобразования Фурье принимаемого сигнала получать до 8192 отдельных частотных каналов с разрешением 4 кГц. На входы DSP-z подавалась сумма и разность сигналов антенн “С-Ю” и “З-В”. Запись данных производилась в режиме полной мощности со следующими параметрами анализа: полоса рабочих частот 20.63–28.88 МГц, постоянная усреднения индивидуальных спектров  $t_{yc} = 20$  мс или 100 мс. Режим полной мощности – это один из возможных режимов работы DSP-z, при котором входные сигналы (в нашем случае сигналы суммы и разности)  $x_{\pm}(\tau)$  преобразуются в двумерные спектрограммы  $u_{\pm}(t, f)$  или динамические спектры посредством преобразования Фурье:

$$u_{\pm}(t, f) = |X_{\pm}(t, f)|^2,$$

$$X_{\pm}(t, f) = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} x_{\pm}(\tau) g(\tau-t) e^{-i2\pi f\tau} d\tau.$$

Здесь  $T$  – длительность окна, скользящего вдоль оси времени,

$$T = N_w \Delta t_s,$$

где  $N_w$  – размер окна (количество отсчетов в окне),  $\Delta t_s = \frac{1}{f_s}$ ,  $f_s$  – частота дискретизации данных;  $g(\tau-t)$  – оконная функция,  $t$  – положение центра окна.

В нашем случае  $N_w = 12^{14} = 16384$ ,  $f_s = 66$  МГц, и мы имеем 2048 частотных канала, отстоящих на  $\Delta f = f_s / N_w \approx 4$  кГц друг от друга.

Далее мощность суммы и мощность разности сигналов антенн, полученные с помощью DSPz, использовались для расчета сигнала  $u = u_+ - u_-$ ,

соответствующего перемноженной диаграмме направленности радиотелескопа УТР-2. На рис. 2 показаны примеры динамических спектров мерцаний  $u(t, f)$  с частотным разрешением 4 кГц (наблюдения 30 января 2011 г.). На рис. 2, а приведено 2 скана радиисточника ЗС47 и 7 сканов ОСН ЗС58, на рис. 2, б и рис. 2, в – динамические спектры флуктуаций интенсивности сигналов, принимаемых с направлений на ОСН ЗС58 и ОСН

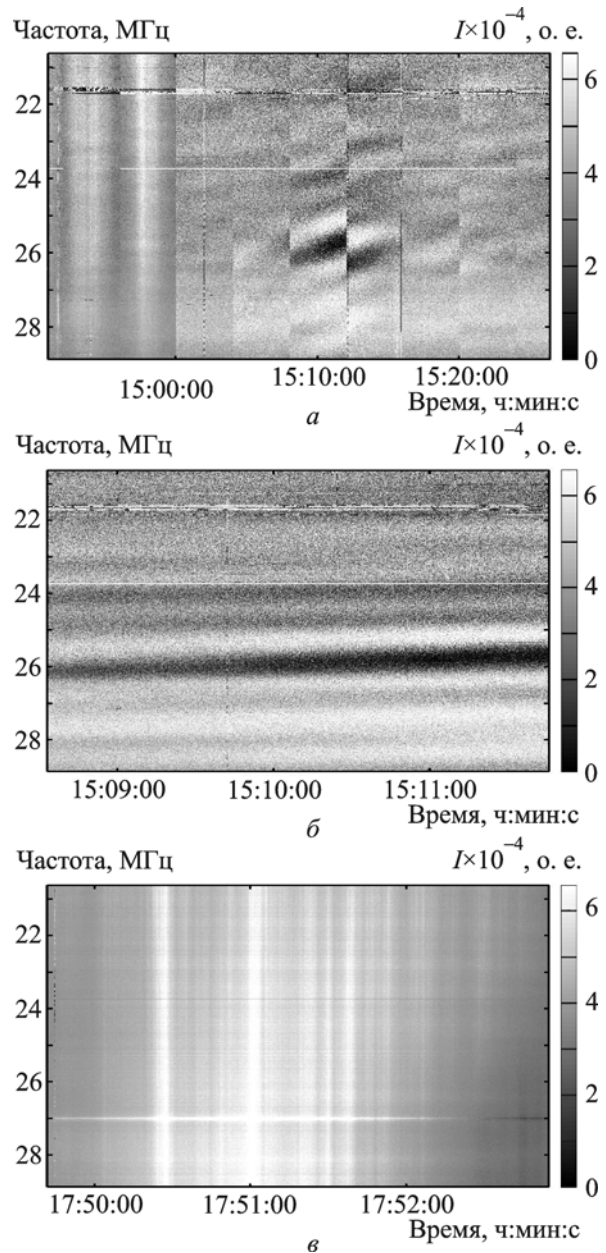


Рис. 2. Динамические спектры флуктуаций интенсивности  $I$  сигналов, принятых с направлений на квазар ЗС47, 2 скана, и на ОСН ЗС58, 7 сканов, (а); на ОСН ЗС58, 1 скан, (б); на ОСН Крабовидная туманность, 1 скан, (в)

Крбовидная туманность соответственно. Заметно существенное отличие динамического спектра флуктуаций интенсивности сигнала для ОСН 3С58 от динамических спектров для ОСН Крабовидная туманность и квазара 3С47.

#### 4. Обработка данных и результаты

На первом этапе обработка данных состояла в удалении из динамических спектров каналов, пораженных помехами, и усреднении оставшихся каналов для получения максимально возможной чувствительности. Несмотря на непростую помеховую обстановку в период проведения эксперимента (вечернее время), удалось получить рекордную для наблюдений мерцаний на декаметровых радиоволнах эффективную полосу пропускания порядка 7 МГц.

Дальнейшая обработка экспериментальных данных состояла в оценке энергетического спектра  $P(\nu)$  по формуле [18]

$$P(\nu) = |F(\nu)|^2 / T,$$

где  $F(\nu)$  – преобразование Фурье процесса флуктуаций интенсивности радиоисточника  $I(t)$ ,  $\nu$  – частота мерцаний,  $T$  – длительность реализации. Выбирались реализации в центре сканов длительностью  $T = 20 \div 30$  с.

На рис. 3 представлен пример усредненных спектров флуктуаций интенсивности сигналов,

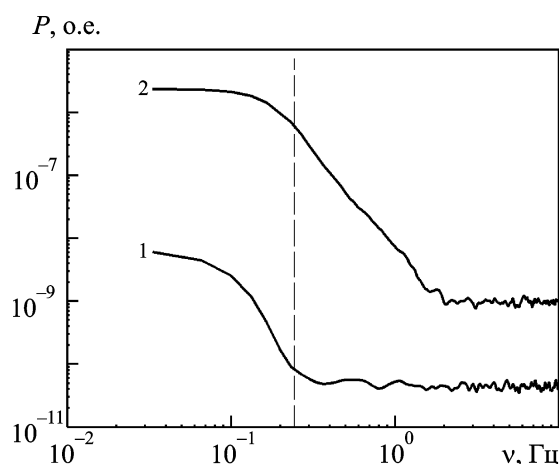


Рис. 3. Пример усредненных спектров флуктуаций интенсивности сигналов, принятых с направлений на ОСН 3С58 (кривая 1) и ОСН Крабовидная туманность (кривая 2) 30 января 2011 г. Вертикальной пунктирной линией обозначена частота 0.25 Гц

принятых с направлений на ОСН 3С58 (кривая 1) и ОСН Крабовидная туманность (кривая 2) 30 января 2011 г. Видно, что спектры существенно отличаются шириной. В спектре 1 отсутствуют флуктуации интенсивности, связанные с мерцаниями на неоднородностях межпланетной плазмы, в то время как в спектре 2 они явно присутствуют (флуктуационные частоты  $0.2 \text{ Гц} < \nu < 2 \text{ Гц}$ ).

Анализ динамического спектра флуктуаций интенсивности сигнала, принятого с направления на ОСН 3С58, (рис. 2, б) показывает, что низкочастотная модуляция, которая проявляет себя в спектре 1 в виде подъема на частотах  $\nu < 0.2 \text{ Гц}$ , объясняется эффектом спутывания с одним из мощных немерцающих радиоисточников (наиболее вероятно с ОСН НВ3). Энергетические спектры мерцаний, полученные в другие дни наблюдений, аналогичны приведенным на рис. 3.

Необнаружение мерцающего радиоисточника в ОСН может иметь по крайней мере пять возможных причин: 1) отсутствие в ОСН звездного остатка (нейтронной звезды), 2) радиотихий звездный остаток, 3) влияние эффекта направленности излучения, 4) увеличение угловых размеров вследствие межзвездного рассеяния, 5) низкая чувствительность радиотелескопа. В случае ОСН 3С58 первые три причины исключены, поскольку в остатке надежно обнаружен радиопульсар J0205+64 [6, 7]. Остановимся более подробно на пункте 4 и оценим увеличение углового размера пульсара J0205+64 вследствие межзвездного рассеяния, для чего воспользуемся формулой, которая была получена в работе [19]:

$$\theta = 50(\lambda/10)^{2.2} (DM/DM_0)^{0.5} \cdot 10^{-6},$$

где  $\lambda = 1200$  см – длина волны, на которой проводились наблюдения (25 МГц); константа  $DM_0 = 25 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-3}$ ;  $DM = 141 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-3}$  – мера дисперсии для радиопульсара J0205+64 согласно данным работы [6];  $\theta$  измеряется в угловых секундах.

Результат расчета ( $\theta \approx 4''$ ) оказывается меньше углового размера первой зоны Френеля для межпланетной среды ( $\theta_F \approx 5''$ ). Таким образом, отсутствие регистрации компактного радиоисточника нельзя объяснить его большими угловыми размерами. Звездный остаток в ОСН 3С58 должен показывать межпланетные мерцания, хотя и ослабленные в силу конечных угловых размеров.

Из спектра 2 на рис. 3 можно оценить параметры  $\nu_{п\_мин} \approx 0.2$  Гц и  $\beta \approx 2.5 \cdot 10^3$ . Поток излучения компактного радиоисточника в ОСН Крабовидная туманность по той же методике оценки составляет порядка 840 Ян. Усреднение по всем дням обеих сессий наблюдений дает окончательный результат:  $(900 \pm 100)$  Ян. Таким образом, поток излучения компактного радиоисточника в ОСН 3С58 на частоте 25 МГц минимум в 300 раз слабее аналогичного источника в ОСН Крабовидная туманность.

На рис. 4 представлен спектр радиоизлучения пульсара J0205+64, который построен по результатам настоящего поиска (самая низкочастотная точка) и данным работ [6, 7, 20, 21]. Вероятно, на частотах меньше 100 МГц имеет место излом спектра радиоизлучения источника (такие спектры с изломом характерны для многих пульсаров [22]). Ранее был предложен ряд объяснений излома в спектре пульсара J0535+22 в ОСН Крабовидная туманность (см., например, [23, 24]). Возможно, аналогичные механизмы работают и в случае пульсара J0205+64 в ОСН 3С58. Однако полученные в настоящей работе данные не позволяют отдать предпочтение какому-либо из них. Окончательный вывод можно будет сделать, реализовав более высокую чувствительность наблюдений. Особый интерес в этой связи представляет строительство гигантских низкочастотных радиотелескопов нового поколения: LOFAR (Голландия), SKA (Австралия), ГУРТ (Украина).

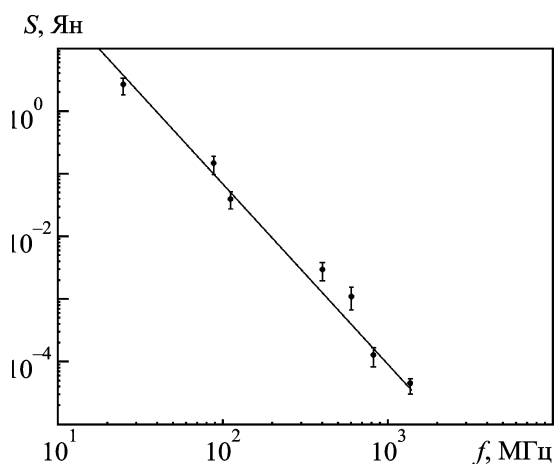


Рис. 4. Спектр радиоизлучения пульсара J0205+64, построенный по результатам настоящего поиска (самые низкочастотные данные) и результатам других работ [6, 7, 20, 21]. Сплошная линия соответствует спектру со спектральным индексом  $\alpha = 2.8$

## 5. Выводы

1. С рекордной для наблюдений межпланетных мерцаний в декаметровом диапазоне волн чувствительностью (2.7 Ян) проведен поиск компактного радиоисточника в ОСН 3С58.

2. Предложена методика поиска компактных мерцающих радиоисточников декаметрового радиоизлучения, которая основана на анализе и учете особенностей энергетического спектра мерцаний.

3. Наблюдения и анализ флуктуаций интенсивности сигнала, принятого с направления на ОСН 3С58, позволил установить верхнюю границу потока излучения в радиоконтинууме звездного остатка (пульсара J0205+64) в диапазоне  $20 \div 28$  МГц на уровне  $(2.7 \pm 0.9)$  Ян. Это более чем в 300 раз меньше потока излучения компактного радиоисточника в ОСН Крабовидная туманность,  $(900 \pm 100)$  Ян, который также был оценен в настоящей работе по той же методике.

4. Поскольку чувствительность поиска позволяла регистрировать поток излучения, который следовало бы ожидать в декаметровом диапазоне длин волн при спектральном индексе  $\alpha \approx 2.8$  (имеющем место на частотах выше 100 МГц), отсутствие регистрации излучения пульсара J0205+64, вероятно, можно объяснить наличием излома в спектре его радиоизлучения на низких частотах.

Автор выражает благодарность О. М. Ульянову и И. Н. Жуку за полезные замечания и обсуждения.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Целевой комплексной программы НАН Украины по научным космическим исследованиям на 2012–2016 гг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Weiler K. W. and Seielstad G. A. Synthesis of the Polarization Properties of 3C 10 and 3C 58 at 1420 and 2880 MHz // *Astrophys. J.* – 1971. – Vol. 163, No. 2. – P. 455–478.
2. Van den Bergh S. A systematic search for galactic supernova remnants // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* – 1978. – Vol. 38, No. 10. – P. 119–128.
3. Bietenholz M. F. Radio Images of 3C 58: Expansion and Motion of Its Wisp // *Astrophys. J.* – 2006. – Vol. 645, No. 2. – P. 1180–1187.
4. Stephenson F. R. and Green D. A. *Historical supernovae and their remnants.* – Oxford: Clarendon Press, 2002.
5. Fesen R., Rudie G., Hurford A., and Soto A. *Optical Imaging and Spectroscopy of the Galactic Supernova Remnant*

- 3С 58 (G130.7+3.1) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* – 2008. – Vol. 174, No. 2. – P. 379–395.
6. Малофеев В. М., Малов И. Ф., Малов О. И., Глушаков А. П. Радиопульсар J0205+6449 в остатке сверхновой 3С58 // *Астрономический журнал.* – 2003. – Т. 80, № 5. – С. 449–457.
  7. Camilo F., Stairs I. H., Lorimer D. R., Backer D. C., Ransom S. M., Klein B., Wielebinski R., Kramer M., McLaughlin M. A., Arzoumanian Z., and Muller P. Discovery of Radio Pulsations from the X-Ray Pulsar J0205+6449 in Supernova Remnant 3С 58 with the Green Bank Telescope // *Astrophys. J.* – 2002. – Vol. 571, No. 1. – P. 41–44.
  8. Сидорчук М. А., Абраменков Е. А. Остатки вспышек сверхновых HB3, 3С58 и IC443 в декаметровом диапазоне длин волн // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2006. – Т. 11, № 2. – С. 134–154.
  9. Hewish A., Scott P. F., and Wills D. Interplanetary Scintillation of Small Diameter Radio Sources // *Nature.* – 1964. – Vol. 203, Is. 4951. – P. 1214–1217.
  10. Пынзарь А. В., Удальцов В. А. Поиск галактических компактных источников в остатках вспышек сверхновых // *Астрономический журнал.* – 1983. – Т. 60, № 3. – С. 493–502.
  11. Purvis A., Tappin S. J., Rees W. G., Hewish A., and Duffett-Smith P. J. The Cambridge IPS survey at 81.5 MHz // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1987. – Vol. 229. – P. 589–619.
  12. Бовкун В. П., Жук И. Н. Спектры мерцаний на неоднородностях ионосферы и межпланетной плазмы и возможность их разделения в декаметровом диапазоне радиоволн // *ДАН УССР.* – 1981. – Сер. А, №6. – С. 69–71.
  13. Калиниченко Н. Н., Фалькович И. С., Коноваленко А. А., Браженко А. И. Разделение межпланетных и ионосферных мерцаний космических источников в декаметровом диапазоне радиоволн // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2013. – Т. 18, № 3. – С. 210–219.
  14. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2 // *Антенны.* – Москва: Связь. – 1978. – Вып. 26. – С. 3–14.
  15. Vovkoon V. P. and Zhouck I. N. Scintillations of cosmic radio sources in the decametre waveband // *Astrophys. Space Sci.* – 1981. – Vol. 79, No. 1. – P. 165–180.
  16. Калиниченко Н. Н. Мерцания космического радиоисточника 4С21.53 в декаметровом диапазоне волн на элонгациях 43°–138° // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2011. – Т. 16, № 4. – С. 386–390.
  17. Ryabov V. B., Vavriv D. M., Zarka P., Ryabov B. P., Kozhin R. V., Vinogradov V. V., and Denis L. A low-noise, high-dynamic-range, digital receiver for radio astronomy applications: an efficient solution for observing radio-bursts from Jupiter, the Sun, pulsars, and other astrophysical plasmas below 30 MHz // *Astron. Astrophys.* – 2010. – Vol. 510. – A16, doi: 10.1051/0004-6361/20091335.
  18. Марпл С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
  19. Шишов В. И. Турбулентная межзвездная плазма и сверхвысокое угловое разрешение в радиоастрономии // *Астрономический журнал.* – 2001. – Т. 78, № 3. – С. 229–237.
  20. Dewey R. J., Taylor J. H., Weisberg J. M., and Stokes G. H. A search for low-luminosity pulsars // *Astrophys. J.* – 1985. – Vol. 294, No. 7. – P. L25–L29.
  21. Lorimer D. R., Lyne A. G., and Camilo F. A search for pulsars in supernova remnants // *Astron. Astrophys.* – 1998. – Vol. 331, No. 3. – P. 1002–1010.
  22. Sieber W. Pulsar spectra: a summary // *Astron. Astrophys.* – 1973. – Vol. 28. – P. 237–252.
  23. Бовкун В. П., Жук И. Н., Соболев Я. М. Низкочастотный компактный источник в Крабовидной туманности // *Астрономический журнал.* – 1987. – Т. 64, № 4. – С. 734–741.
  24. Rankin J. M., Comella J. M., Craft H. D., Richards D. W., Campbell D. B., and Counselman C. C. Radio pulse shapes, flux densities, and dispersion of pulsar NP 0532 // *Astrophys. J.* – 1970. – Vol. 162. – P. 707–725.
- М. М. Калиниченко  
Радиоастрономічний інститут НАН України,  
вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна
- ПОШУК КОМПАКТНОЇ МЕРЕХТЛИВОЇ  
КОМПОНЕНТИ В ОСН 3С58 У ДЕКАМЕТРОВОМУ  
ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ
- Шляхом спостережень міжпланетних мерехтін з рекордною для декаметрового діапазону довжин хвиль чутливістю встановлено верхню межу потоку безперервного радіовипромінювання компактного джерела в ОСН 3С58 на рівні  $(2.7 \pm 0.9)$  Ян. Оскільки чутливість спостережень дозволяє реєструвати потік, який слід би очікувати в декаметровому діапазоні довжин хвиль при спектральному індексі  $\alpha \approx 2.8$  (який має місце на частотах понад 100 МГц), відсутність реєстрації випромінювання компактного джерела пояснюється меншим значенням спектрального індексу на низьких частотах (наявністю зламу в спектрі радіовипромінювання).
- N. N. Kalinichenko  
Institute of Radio Astronomy, National Academy  
of Sciences of Ukraine,  
4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine
- SEARCH FOR A COMPACT  
SCINTILLATING COMPONENT  
IN SNR 3С58 AT DECAMETER WAVELENGTHS
- The upper limit for the flux of a compact source of continuum radio emission in SNR 3С58,  $(2.7 \pm 0.9)$  Jy, was obtained by the highest sensitive observations of interplanetary scintillations at decameter wavelengths. As the sensitivity of observations allows detecting the flux which could be expected at decameter wavelengths for the spectral index  $\alpha \approx 2.8$  (as at frequencies above 100 MHz) the non-detection of compact source emission is explained by the less value of spectral index at low frequencies (the presence of the cut-off in radio emission spectrum).

Статья поступила в редакцию 05.12.2013