

## **Обнаружение индивидуальных импульсов пульсаров B0809+74; B0834+06; B0943+10; B0950+08; B1133+16 в декаметровом диапазоне волн**

О. М. Ульянов, В. В. Захаренко, А. А. Коноваленко, А. Лекашо<sup>1</sup>,  
К. Розолен<sup>1</sup>, Х. О. Рукер<sup>2</sup>

*Радиоастрономический институт НАН Украины,  
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина  
E-mail: oulyanov@rian.kharkov.ua*

*<sup>1</sup>Парижская обсерватория, Медон, Франция  
E-mail: alain.lecacheux@obspm.fr*

*<sup>2</sup>Институт космических исследований, Грац, Австрия  
E-mail: htlmut.rucker@oeaw.ac.at*

*Статья поступила в редакцию 9 августа 2005 г., после переработки 13 марта 2006 г.*

Обнаружены индивидуальные импульсы излучения пяти пульсаров (PSR B0809+74; B0834+06; B0943+10; B0950+08; B1133+16) на частотах  $18 \div 30$  МГц. Это излучение, вероятнее всего, обусловлено наличием мощных субимпульсов, пиковая интенсивность которых в 20 и более раз превышает пиковую интенсивность средних профилей. Интенсивность индивидуальных импульсов сильно промодулирована по частоте и по времени. Вероятность регистрации аномально интенсивных импульсов в декаметровом диапазоне не превышает нескольких процентов. Как правило, такие импульсы регистрируются короткими сериями (не более 10 импульсов). Характерные значения полосы регистрации импульсов, имеющих аномальную интенсивность, находятся в диапазоне  $0.2 \div 0.5$  октавы.

### **Введение**

До настоящего времени имелась информация о средних профилях десяти пульсаров в декаметровом диапазоне волн [1-5]. Эти профили получались с помощью накопления огибающих радиоизлучения пульсаров, синхронного с периодами их обращения, в относительно узких полосах регистрации  $\Delta f / f_0 \approx 0.01$  (где  $\Delta f$  – общая полоса регистрации,  $f_0$  – центральная частота приема). При этом для увеличения отношения сигнал/шум накапливалось от сотни до нескольких тысяч индивидуальных импульсов. С помощью такой методики удавалось установить коэффициенты корреляции

между флуктуациями радиоизлучения в различных частях импульса и радиоизлучения в межимпульсном пространстве. Однако развитие исследований пульсаров требует оценки возможности регистрации индивидуальных импульсов не только на высоких частотах, где они и были обнаружены первооткрывателями пульсаров [6], но и в самой низкочастотной области их радиоспектра. Несмотря на то, что пульсары, как отдельный класс астрофизических объектов, были зарегистрированы благодаря наличию строгой периодичности в последовательности индивидуальных импульсов, для декаметрового диапазона успешная регистрация этих импульсов

была весьма проблематична. Действительно, из известной ранее информации о средних спектрах радиоизлучения пяти пульсаров [4] (типичные значения плотности средних потоков этих пульсаров составляют  $0.1 \div 0.3$  Ян на частоте 25 МГц) можно сделать вывод, что индивидуальные импульсы не могут быть надежно зарегистрированы на частотах ниже 25 МГц даже крупнейшими радиотелескопами, которые существуют в настоящее время. Однако имелись предпосылки, позволяющие надеяться на возможность успешной регистрации отдельных импульсов в декаметровом диапазоне. Было замечено, что в законах распределения интенсивностей средних профилей, которые получались ранее с небольшим числом накопленных импульсов, некоторое число событий попадало в интервал значений, превышающий уровень  $6\sigma$  (где  $\sigma$  – это среднеквадратичное отклонение). Анализ таких законов дал возможность высказать предположение о том, что часть индивидуальных импульсов имеет аномально высокую интенсивность по отношению к средней интенсивности [7].

Проведенный цикл наблюдений позволил доказать, что для пяти пульсаров в декаметровом диапазоне наблюдаются аномально интенсивные индивидуальные импульсы. Ранее на более высоких частотах (в метровом диапазоне) наблюдались мощные индивидуальные импульсы для нескольких пульсаров [8-10]. Другая информация о регистрации аномально интенсивных индивидуальных импульсов пульсаров в близких частотных диапазонах пока отсутствует.

### Аппаратура и методика наблюдений

Наблюдения пульсаров проводились в феврале-марте 2000 г. и с ноября 2002 г. по март 2003 г. на радиотелескопе (РТ) УТР-2. РТ имеет “Т”-образную форму и состоит из трех антенн: Южной, Северной и Западной. Название отдельной антенны соответствует направлению из фазового центра РТ УТР-2, вдоль которого она расположена. При проектировании УТР-2 был заложен

принцип секционирования, поэтому каждая из его антенн состоит из четырех секций. В фазовом центре радиотелескопа имеются выходы всех двенадцати секций. Такой принцип построения позволяет исследователям гибко выбирать требуемую для конкретной программы наблюдений конфигурацию каждой антенны. В частности, для наблюдений индивидуальных импульсов пульсаров требуется максимизировать эффективную площадь антенны, что достигается синфазным суммированием сигналов со всех секций выбранной антенны и дальнейшим синфазным суммированием теперь уже целых антенн.

Представляет интерес сравнить параметры интерферометрической системы УТР-2+УРАН с соответствующими параметрами системы LOFAR (Low Frequency Array), которая только проектируется для работы в метровом диапазоне длин волн [11]. Такое сравнение представлено в табл. 1 (более подробно основные параметры УТР-2 и УРАН приведены в [12, 13]).

Таким образом, основные параметры уже существующей системы УТР-2+УРАН сопоставимы с аналогичными параметрами проектируемой системы LOFAR, а разница в чувствительностях этих систем на общей частоте 30 МГц определяется только отношением их эффективных площадей.

Представляет интерес рассмотреть, какие параметры определяют чувствительность РТ УТР-2 при проведении наблюдений пульсаров, для которых эффект спутывания отсутствует. В случае наблюдения пульсаров в режиме некогерентного накопления (т. е. накопления огибающих радиоимпульса), синхронного периода пульсара, оценка чувствительности определяется следующей формулой:

$$S = \sigma = \frac{2KT_{\phi}}{A_{\phi\phi} \sqrt{\Delta f \Delta \tau t / T_1}},$$

где  $S$  – чувствительность на уровне одного среднеквадратичного отклонения ( $\sigma$ ),  $K$  – постоянная Больцмана,  $T_{\phi}$  – температура

Таблица 1. Сравнение основных технических характеристик LOFAR и УТР-2+УРАН

Характеристики		LOFAR		УТР-2+УРАН		
Частотный диапазон, МГц	Низкие частоты	30 ÷ 80		8 ÷ 30		
Число вибраторов	Низкие частоты	7700		3032		
Поляризация		Полная система параметров Стокса		Полная система параметров Стокса		
Конфигурация	Ядро	3200 вибраторов; 32 станции (секции) с длинами баз от 100 м до 2 км		2040 вибраторов; 12 секций (станций) с длинами баз от 225 м до 1800 м		
	Расширенная антенна	4500 вибраторов; 45 станций с длинами баз до 100 км		992 вибратора; 4 станции с длинами баз до 900 км		
Ширина полосы оцифровки	Низкие частоты	100 МГц		180 кГц ÷ 12.5 МГц		
Ожидаемый объем обработки, МГц	Сумма полос всех лучей	32		20		
Эффективная площадь антенны, тыс. м <sup>2</sup>	Ядро	79 (30 МГц)	12 (75 МГц)	200 (10 МГц)	150 (20 МГц)	40 (30 МГц)
	Полная антенна	190 (30 МГц)	30 (75 МГц)	297 (10 МГц)	223 (20 МГц)	59 (30 МГц)
Чувствительность, мЯн (накопление – 1 ч, поляризации – 2, полоса приема – 4 МГц)	Ядро	4.8 (30 МГц)	3.3 (75 МГц)	28.8 (10 МГц)	3.8 (20 МГц)	9.6 (30 МГц)
	Полная антенна	2.0 (30 МГц)	1.3 (75 МГц)	19.4 (10 МГц)	2.6 (20 МГц)	5.9 (30 МГц)
Размеры луча	Ядро	21' (30 МГц)	8.3' (75 МГц)	70' (10 МГц)	35' (20 МГц)	23' (30 МГц)
	Полная антенна	25" (30 МГц)	10" (75 МГц)	6.9" (10 МГц)	3.4" (20 МГц)	2.3" (30 МГц)

галактического фона,  $A_{эфф}$  – эффективная площадь антенны в заданном направлении,  $\Delta f$  – полоса приема,  $\Delta \tau$  – постоянная цепи интегрирования,  $t$  – интервал наблюдения,  $T_1$  – период вращения пульсара.

Расчет, проведенный для характерных параметров ( $T_{\phi} = 20000$  К,  $A_{эфф} = 100000$  м<sup>2</sup>,  $\Delta f = 12$  МГц,  $\Delta \tau = 20$  мс,  $t = 3$  ч,  $T_1 = 1$  с), использовавшихся в наблюдениях, показал, что чувствительность при наблюдениях средних профилей пульсаров составляла 11 мЯн ( $1 \text{ Ян} = 10^{-26} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Гц})$ ).

Данный цикл наблюдений проводился с различной приемной аппаратурой и по

этому критерию весь цикл можно условно разделить на две части. Первая часть (февраль-март 2000 г.) осуществлялась в панорамном режиме, когда в качестве оконечной аппаратуры использовался цифровой спектроанализатор DSP (digital spectra polarimeter) [14]. Этот спектроанализатор имеет два независимых канала цифровой регистрации ( $2 \times 12.5$  МГц). Центральная частота настройки каждого канала задается программно и может изменяться от 10 до 50 МГц. В полосе каждого приемного канала DSP с помощью быстрого преобразования Фурье, которое выполняется в ре-

альном масштабе времени, формируется 1024 частотных канала с временным разрешением до 2 мс. Этот спектроанализатор может работать в режиме регистрации одного или двух авто-спектров (спектров мощности), либо в режиме регистрации кросс-спектра. В первом режиме в качестве выходного сигнала будет зарегистрирована последовательность спектров интенсивности от антенной температуры первого канала (частотное разрешение  $\Delta f = 12.2$  кГц, временное разрешение  $\Delta \tau = 2 \div 20$  мс). Во втором режиме на выход передаются как спектры интенсивности обоих каналов, так и реальная и мнимая части их взаимного спектра. Таким образом, спектроанализатор можно использовать как поляриметр. В данном цикле наблюдений использовался одноканальный режим работы с центральной частотой настройки 24 МГц и 1024 частотными каналами.

Вторая часть наблюдений проводилась с января 2002 г. по март 2003 г. В этом цикле наблюдений в качестве оконечной аппаратуры использовался 60-канальный спектроанализатор параллельного типа, который работал в полосе  $23 \div 24$  МГц. Полоса пропускания каждого канала равнялась 3 кГц. Расстояние между соседними каналами составляло 20 кГц. Временное разрешение соответствовало 2 мс, а постоянная времени интегрирования равнялась 5 мс. Относительно узкая полоса была выбрана из такого расчета, чтобы дисперсионное запаздывание сигнала пульсара в полосе одного приемного канала не превышало временного разрешения. Далее выходные сигналы в каждом канале детектировались и поступали на аналогово-цифровой преобразователь, который успевал опрашивать все 60 каналов за время 1.8 мс. Во втором цикле наблюдений нам требовалось на порядок улучшить временное разрешение, по сравнению с первым циклом, так как мы хотели проверить гипотезу о том, что в декаметровом диапазоне регистрируется субимпульсная структура радиоизлучения пульсаров и именно отдельные субимпульсы имеют аномально высокую интенсивность по отношению к интенсивности среднего профиля.

Методика обработки в обоих циклах наблюдений принципиально не отличалась и сводилась к следующему:

- 1) нормировка амплитудно-частотных характеристик во всей полосе приема и очистка зарегистрированных сигналов от помех;
- 2) постдетекторная компенсация меры дисперсии;
- 3) калибровка выходного сигнала с помощью эталонного генератора шума;
- 4) накопление импульсов, синхронное с периодом пульсаров;
- 5) оценка плотности потока импульсной компоненты радиоизлучения пульсаров.

### Наблюдения и результаты

В обоих циклах наблюдений выбирались пульсары, для которых регистрация индивидуальных импульсов представлялась наиболее вероятной. Критерии отбора были следующие:

- выбранные для обзора пульсары должны наблюдаться на УТР-2 в ночное время с ноября по март месяц, когда влияние ионосферы и помех в декаметровом диапазоне минимально;

- пульсары должны иметь относительно низкие значения меры дисперсии, чтобы было возможно использовать постдетекторную процедуру компенсации меры дисперсии и минимизировать расширение импульсной компоненты, возникающее из-за влияния меры дисперсии в полосе регистрации радиоизлучения;

- плотность потока выбранных пульсаров, приведенная в каталоге [15] для частот 400 и 1400 МГц и пересчитанная на частоту 102 МГц, ниже которой наблюдается завал спектральной плотности мощности [4, 5], должна превышать 200 Ян;

- угол места в момент транзита пульсара через локальный меридиан должен превышать  $30^\circ$ , т. к. при меньших углах уменьшаются эффективная площадь УТР-2 и время нахождения источника над горизонтом.

В результате для наблюдений было выбрано 11 пульсаров. Их основные характеристики, которые принимались во внимание с точки зрения критериев отбора, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные характеристики исследуемых пульсаров

№	PSRB	RA (J2000), ч:мин:с	Dec (J2000)	$MD$ , пк/см <sup>3</sup>	$S_{400}$ , мЯн	$S_{102}$ , мЯн	$\alpha$
1	0809+74	08:14:59.490	74°29'06.60"	5.7513	80	773	-1.66
2	0823+26	08:26:51.310	26°37'25.57"	19.4751	65	501	-1.494
3	0834+06	08:37:05.649	6°10'14.08"	12.8579	85	2384	-2.44
4	0917+63	09:21:14.062	62°54'14.09"	12.8	4	39	-1.66
5	0943+10	09:46:07.300	9°51'57.00"	15.35	3	–	–
6	0950+08	09:53:09.316	7°55'35.60"	2.9702	400	2167	-1.236
7	1133+16	11:36:03.296	15°51'00.69"	4.8471	300	3697	-1.838
8	1237+25	12:39:40.475	24°53'49.25"	9.2755	110	1504	-1.914
9	1322+83	13:21:46.300	83°23'39.20"	13.7	10	–	–
10	1508+55	15:09:25.880	55°31'34.90"	19.599	95	1412	-1.975
11	1530+27	15:32:10.290	27°45'50.60"	14.61	12	230	-2.162

Примечание. RA – прямое восхождение, Dec – склонение,  $MD$  – мера дисперсии,  $S_{400}$  – плотность потока на частоте 400 МГц,  $S_{102}$  – плотность потока на частоте 102 МГц,  $\alpha$  – спектральный индекс

Из одиннадцати пульсаров индивидуальные импульсы удалось обнаружить у пяти (табл. 3), причем регистрация индивидуальных импульсов для этих пульсаров проведена на обоих типах оконечной аппаратуры. Для остальных пульсаров определялись верхние значения пиковой плотности потока на уровне одного среднеквадратичного отклонения антенной температуры в направлении на выбран-

ный пульсар. Этот уровень соответствует порогу обнаружения индивидуальных импульсов (табл. 4).

Использование DSP позволило зафиксировать особенности излучения индивидуальных импульсов в широкой полосе частот. Качественно эти особенности являются общими для всех пульсаров, у которых индивидуальные импульсы были обнаружены, и состоят в следующем:

Таблица 3. Вероятность регистрации индивидуальных импульсов в полосе 18 ÷ 30 МГц

№	PSRB	Качественная оценка				Число файлов	Общее время наблюдений, мин	Средняя оценка
		0	1	2	3			
1	0809+74	12	33	84	11	140	1190	1.67
2	0823+26	20	–	–	–	20	170	0
3	0834+06	–	3	6	1	10	85	1.8
4	0917+63	16	–	–	–	16	136	0
5	0943+10	7	4	6	1	18	153	1.06
6	0950+08	3	5	2	–	10	85	0.9
7	1133+16	10	24	77	14	125	1062.5	1.76
8	1237+25	23	–	–	–	23	195.5	0
9	1322+83	7	–	–	–	7	59.5	0
10	1508+55	14	–	–	–	14	119	0
11	1530+27	22	–	–	–	22	187	0

Таблица 4. Оценка чувствительности УТР-2 на частоте 22 МГц

№	PSRB	$T_{\phi}$ , К	$\sigma_{22}$ , Ян (DSP, $\Delta f = 12.2$ кГц, $\Delta \tau = 20$ мс)	$\sigma_{22}$ , Ян (60- кан. приемник, $\Delta f = 180$ кГц, $\Delta \tau = 5$ мс)
1	0809+74	24000	66.9	23.9
2	0823+26	22000	60.4	21.6
3	0834+06	20000	69.1	24.7
4	0917+63	26000	67.7	24.2
5	0943+10	20000	65.0	23.2
6	0950+08	19000	63.6	22.7
7	1133+16	21000	63.2	22.6
8	1237+25	24000	66.3	23.7
9	1322+83	24000	73.1	26.1
10	1508+55	30000	76.2	27.2
11	1530+27	36000	98.1	35.0

Примечание.  $\sigma_{22}$  – оценка чувствительности УТР-2 на частоте 22 МГц

1) около 90 ÷ 95 % времени индивидуальные импульсы не регистрируются;

2) весьма редко спектр отдельного импульса имеет достаточную интенсивность для регистрации во всей полосе DSP (18 ÷ 30 МГц), чаще всего импульс регистрируется в пределах относительно узкой полосы, шириной 1.5 ÷ 5 МГц;

3) иногда один и тот же импульс регистрируется в двух–трех узких полосах;

4) если спектр одного импульса регистрируется в полосе 10 МГц и более, то такие импульсы имеют аномально высокую интенсивность;

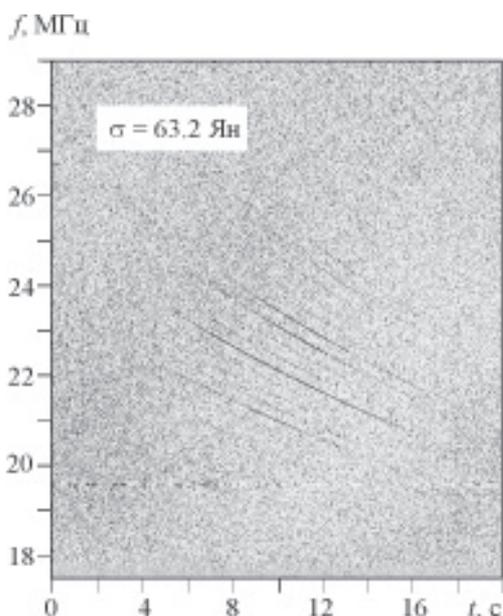
5) при наблюдениях всех пульсаров, для которых зарегистрированы индивидуальные импульсы, в поле зрения приемной системы попадает точечный источник континуума, мерцания которого на неоднородностях электронной концентрации межпланетной плазмы и/или ионосферы также регистрируются.

Некоторые качественные оценки зарегистрированных импульсов приведены в табл. 3. Оценка 0 соответствует отсутствию индивидуальных импульсов в файле, длительность которого составляла 8.5 мин.

Оценке 2 соответствует наличие короткой группы индивидуальных импульсов (не более 10 шт.) в отдельном файле, а оценке 3 соответствует длинная серия импульсов или несколько коротких групп импульсов. В столбцах табл. 3 указано общее число зарегистрированных файлов и распределение их по событиям. В последнем столбце приведена усредненная оценка по всем наблюдениям для данного пульсара.

Даже из такого качественного анализа видно, что наиболее часто наблюдаются короткие группы импульсов, имеющие достаточную интенсивность, чтобы быть зарегистрированными в декаметровом диапазоне.

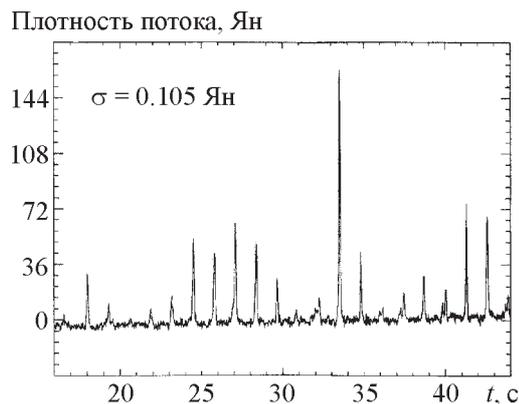
Пример динамических спектров для характерной короткой группы индивидуальных импульсов PSR B1133+16 приведен на рис. 1. На этом рисунке можно видеть, что характерная ширина полосы частот, в которой зарегистрирован каждый импульс, составляет 2 ÷ 2.5 МГц. Сама полоса регистрации индивидуальных импульсов имеет свою динамику, т. е. она перемещается с течением времени в область верхних частот. Начало зарегистрированных спектров коррелирует с небольшим усилением интенсивности точечно-



**Рис. 1.** Пример регистрации последовательности индивидуальных импульсов PSR B1133+16. Мера дисперсии не компенсировалась. Наблюдения 25 февраля 2000 г. Параметры регистрации: число каналов – 1024; полоса одного канала  $\Delta f = 12.2$  кГц,  $\Delta \tau = 20$  мс;  $\sigma$  – чувствительность наблюдений (см. табл. 4)

го источника континуума, который попал в луч УТР-2. Вопрос о том, является этот источник пульсаром B1133+16 или это какой-то не связанный с пульсаром источник, остается пока открытым. Более контрастно подобные явления видны на других рисунках.

Если динамические спектры с компенсированной мерой дисперсии проинтегрировать по всей полосе частот, можно видеть (см. рис. 2), что вариации интенсивности индивидуальных импульсов в декаметровом диапазоне весьма значительны. В частности, для данного рисунка они достигают отношения 23. Это объясняется тем, что динамические спектры импульсов, представленных на рис. 2, имеют различные полосы генерации, а отношение, приведенное выше, определяется произведением ширины полосы частот импульса на его интенсивность. Однако поскольку большую часть времени индивидуальные импульсы не регистрируются, мы будем говорить об отношении интенсивностей в максимуме индиви-

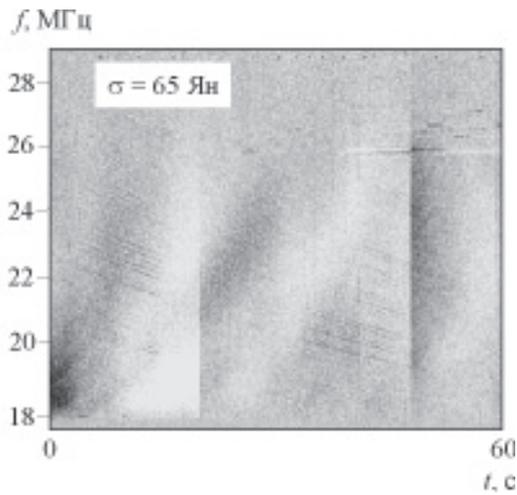


**Рис. 2.** Вариации интенсивности излучения индивидуальных импульсов PSR B0809+74, проинтегрированные в полосе частот  $18 \div 30$  МГц

дуального импульса к интенсивности в максимуме “динамического” среднего профиля, который формируется из этих же данных. Такое отношение в ряде случаев может достигать  $20 \div 50$ . Эти аномальные вариации могут свидетельствовать о чрезвычайно быстром изменении условий генерации импульсов в магнитосфере самих пульсаров и, частично, о быстрых изменениях на луче зрения параметров среды распространения.

На рис. 3 приведен пример регистрации коротких групп импульсов PSRB 0943+10 в двух узких полосах. Здесь отчетливо видна корреляция усиления континуального источника радиоизлучения с усилением импульсной компоненты пульсара.

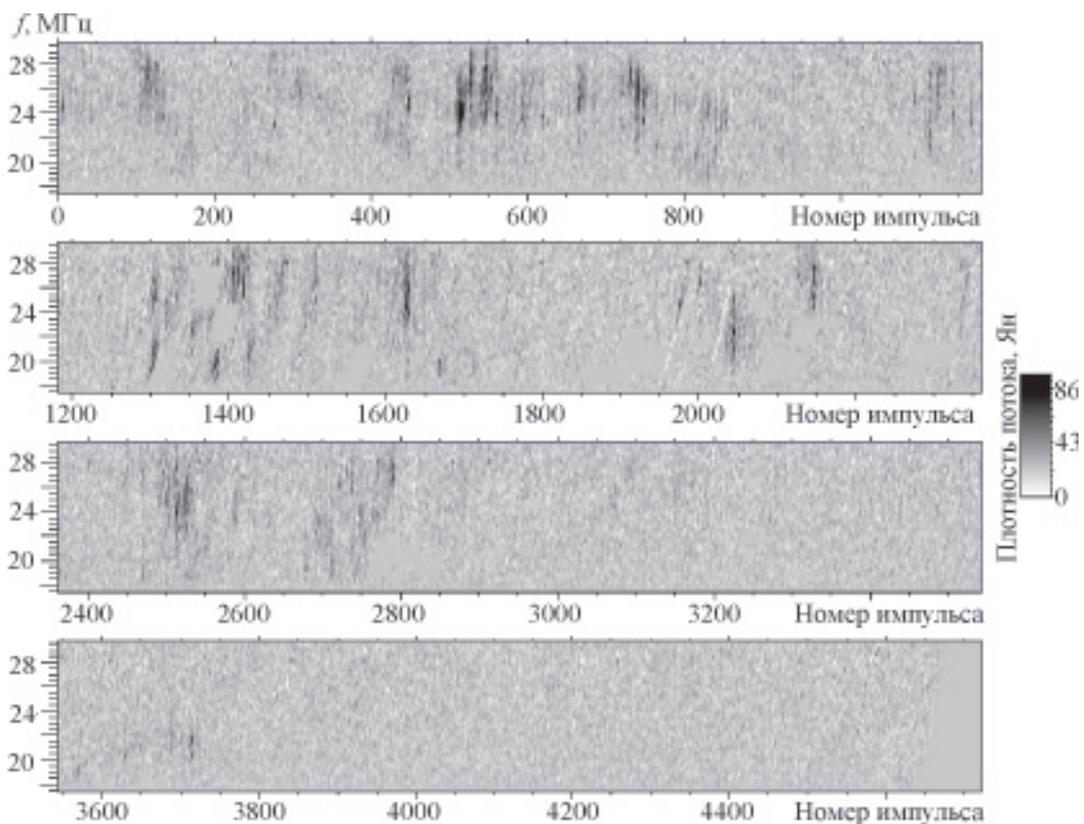
Рассмотрим, каким образом проявляют себя индивидуальные импульсы в декаметровом диапазоне на длинных интервалах регистрации. На рис. 4 представлены долговременные вариации индивидуальных импульсов PSR B0809+74. Можно видеть, что наиболее сильные импульсы достигают интенсивности 100 Ян. Наблюдается некоторый дефицит мощных импульсов в области низких частот. Этот дефицит может быть связан с падением спектральной плотности мощности пульсара в области низких частот. На рис. 4 представлено наибольшее количество индивидуальных импульсов, которое нам удалось зарегистрировать для одного пульсара в один день наблюдений.



**Рис. 3.** Динамические спектры индивидуальных импульсов PSR B0943+10 в диапазоне 18 ÷ 30 МГц. Мера дисперсии не компенсировалась. Наблюдения 25 февраля 2000 г. Параметры регистрации: число каналов – 1024; полоса одного канала  $\Delta f = 12.2$  кГц,  $\Delta t = 20$  мс

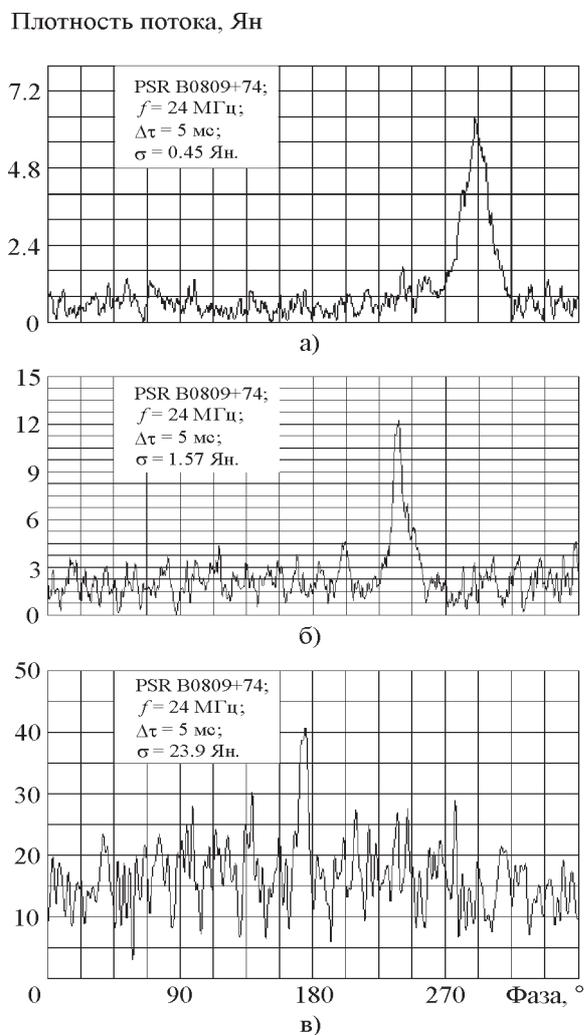
Оценки пиковой плотности потоков на уровне одного среднеквадратичного отклонения для тех шести пульсаров, у которых индивидуальные импульсы не были обнаружены, приведены в табл. 4. Поскольку данные оценки определяются чувствительностью УТР-2, в табл. 4 приводится чувствительность радиотелескопа в направлениях на все пульсары для обоих типов оконечной аппаратуры с теми параметрами регистрации, которые реально использовались. Температура галактического фона в направлениях на различные пульсары взята из работы [16].

Оценки характерных ширин “динамических” профилей PSR B0809+74 и PSR B0834+06, полученные для различного числа усредняемых импульсов, приведены

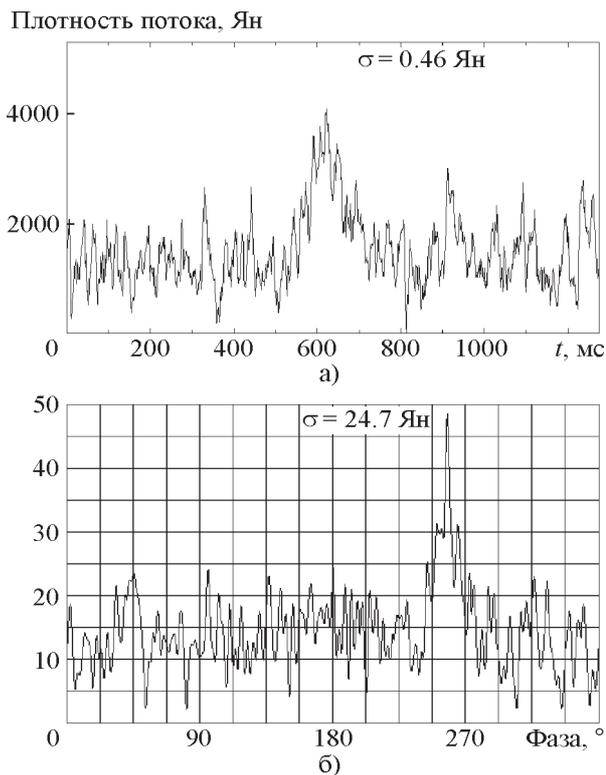


**Рис. 4.** Панорамные наблюдения интенсивности индивидуальных импульсов PSR B0809+74 в диапазоне 18 ÷ 30 МГц 10 февраля 2000 г. Долговременные вариации интенсивности обусловлены не только мерцаниями, но и процессами в околопульсарной плазме

на рис. 5 и 6 соответственно. Из этих рисунков и всей совокупности обработанных данных видно, что для регистрации отдельных импульсов их пиковая плотность потока должна превышать 30 Ян. В то же

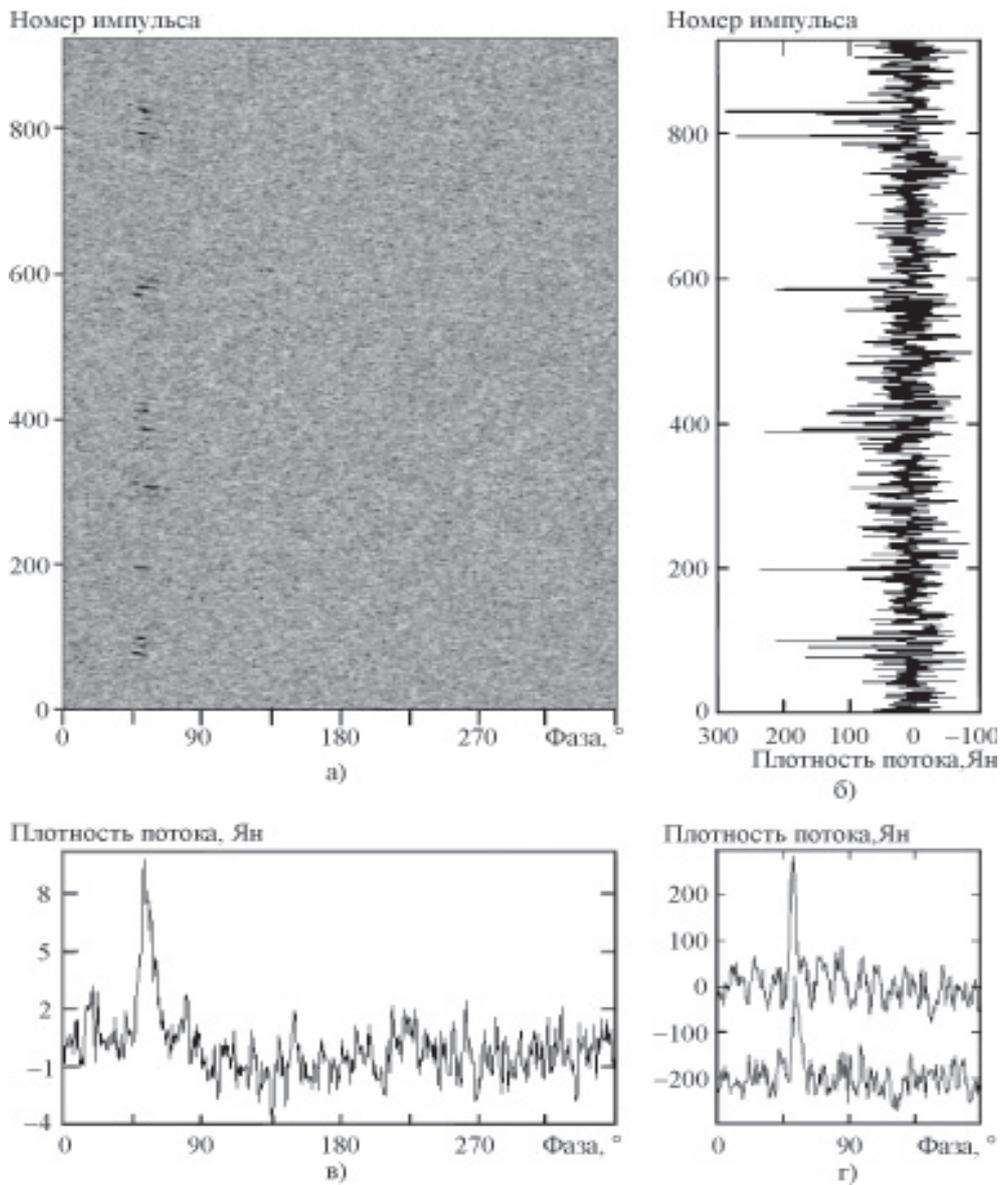


**Рис. 5.** Сравнение средних профилей и индивидуальных импульсов PSR B0809+74 с различным временем усреднения: а) – усреднено 2772 индивидуальных импульса (ширина профиля на уровне 0.25 от максимума составляет  $28^\circ$ ); б) – усреднено 233 индивидуальных импульса (ширина профиля на уровне 0.25 от максимума составляет  $2^\circ$ ); в) – усреднение отсутствует (ширина импульса на уровне 0.25 от максимума составляет  $13^\circ$ ). Все наблюдения проведены в разное время, поэтому максимумы профилей находятся в разных фазах. Накопление осуществлено в полосе 180 кГц



**Рис. 6.** Сравнение средних профилей и индивидуальных импульсов PSR B0834+06: а) – усреднено 2828 индивидуальных импульсов (ширина профиля на уровне 0.25 от максимума составляет  $45.5^\circ$ ); б) – усреднение отсутствует (ширина импульса на уровне 0.25 от максимума составляет  $26^\circ$ ). Наблюдения (а) проведены 5 февраля 2003 г., наблюдения (б) проведены 24 ноября 2002 г., поэтому максимумы профилей находятся в разных фазах ( $f = 24$  МГц,  $\Delta\tau = 5$  мс). Накопление осуществлено в полосе 180 кГц

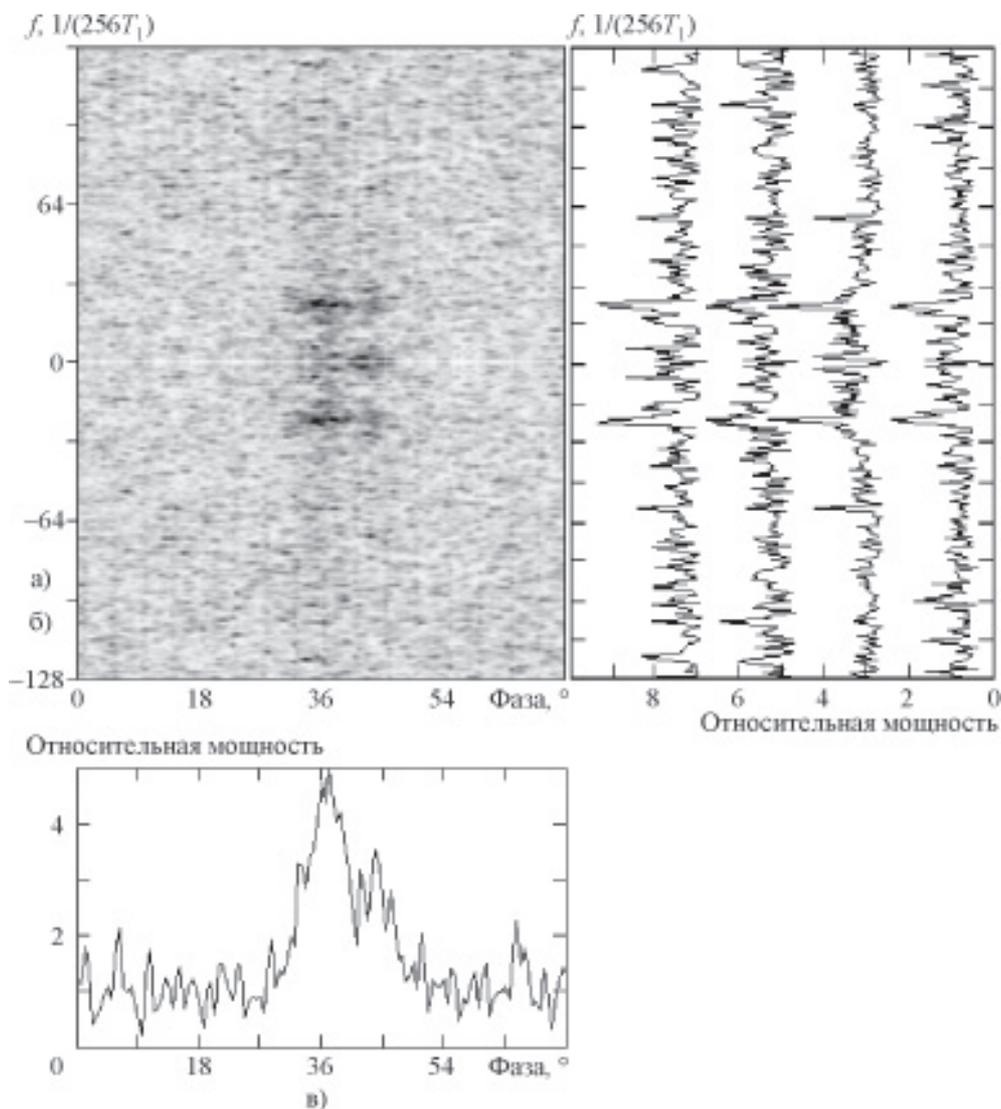
время для средних профилей импульсной компоненты радиоизлучения с характерным временем усреднения 1 ч эта величина не превышает  $5 \div 10$  Ян в максимуме – для лучших реализаций. Эти данные, а также данные, полученные в других форматах и для других пульсаров (см. рис. 7-10) демонстрируют общую тенденцию – увеличение ширины “динамического” среднего профиля при росте числа усредняемых индивидуальных импульсов. Так, для PSR B0809+74 ширина профиля или импульса на уровне 25 % интенсивности от максиму-



**Рис. 7.** Наблюдения 5 февраля 2003 г. последовательности индивидуальных импульсов PSR B0809+74: а) – последовательность индивидуальных импульсов, в которой зарегистрированы дрейфовые полосы, присущие субимпульсам; б) – флуктуации интенсивности индивидуальных импульсов в максимуме интенсивности среднего профиля; в) – средний профиль PSR B0809+74, полученный из последовательности 927 индивидуальных импульсов (рис. 7, а), ширина среднего профиля по уровню 0.5 составляет  $9.4^\circ$ ; г) – профили двух индивидуальных импульсов (№ 826, 830) с аномальной интенсивностью (импульс № 830 – вверху), ширина импульса № 830 по уровню 0.5 составляет  $3.4^\circ$ , а ширина импульса № 826 по уровню 0.5 составляет  $6.8^\circ$

ма меняется как  $28^\circ/21^\circ/13^\circ$  при накоплении 2772/233/1 индивидуальных импульсов соответственно (см. рис. 5). Аналогичные

числа для PSR B0834+06 выглядят следующим образом:  $45.5^\circ/26^\circ$ ; 2828/1; (см. рис. 6). С увеличением количества накопленных

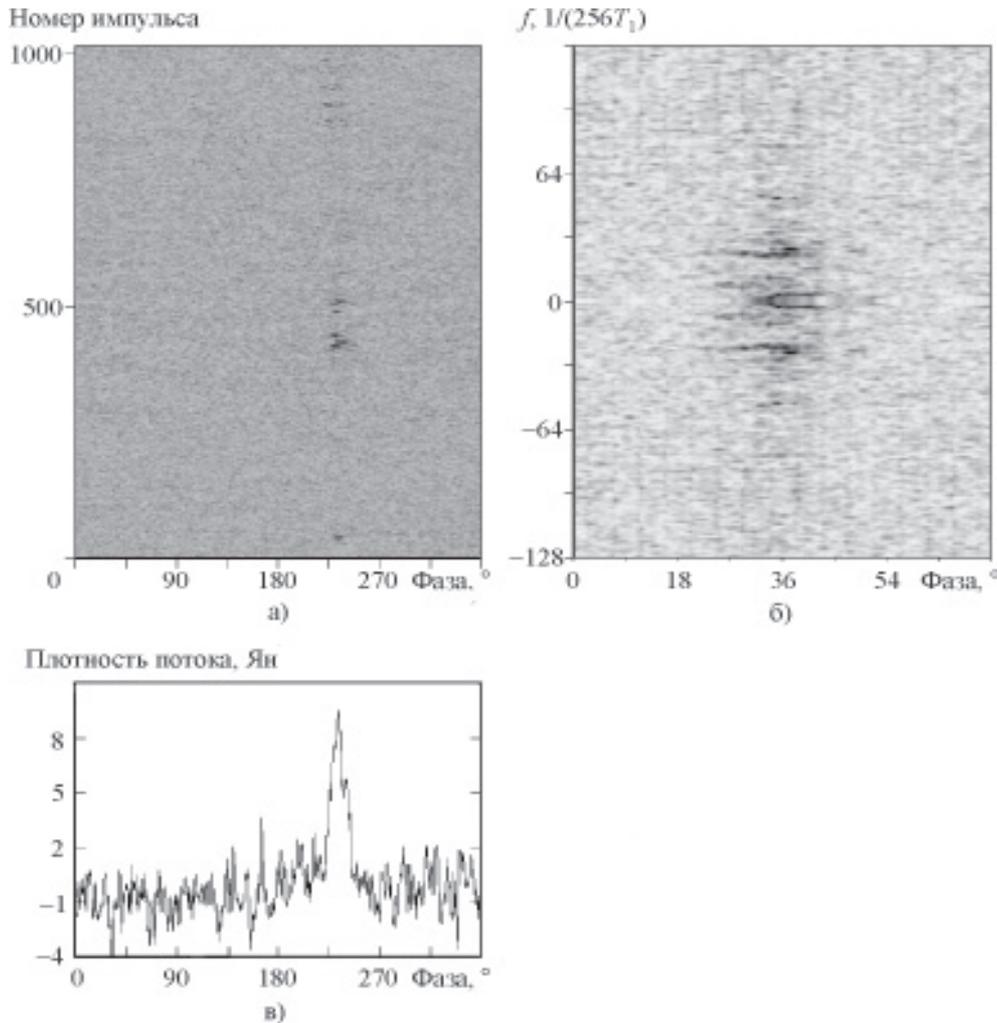


**Рис. 8.** Средний спектр флуктуаций интенсивности индивидуальных импульсов PSR B0809+74. Наблюдения 5 февраля 2003 г. Накопление проведено в полосе частот 180 кГц;  $f = 24$  МГц,  $\Delta\tau = 5$  мс. а) – средний спектр флуктуаций интенсивности индивидуальных импульсов PSR B0809+74 в окне долгот главного импульса, область частот вблизи частоты  $f(T_3) = \pm 23/(256T_1)$  (где  $T_1$  – период вращения пульсара) соответствует периоду второго порядка  $T_3$ , который характеризует наличие субимпульсов в радиоизлучении данного пульсара; б) – сечения среднего спектра флуктуаций интенсивности индивидуальных импульсов на различных долготах вблизи максимума в окне главного импульса; в) – средняя мощность представленного флуктуационного спектра в зависимости от долготы

импульсов вблизи долгот окна главного импульса формируется низкоинтенсивное плато, которое по своей ширине может достигать  $\sim 60^\circ$  и более (см. рис. 5-10).

Пример вариаций интенсивности индивидуальных импульсов PSR B0809+74

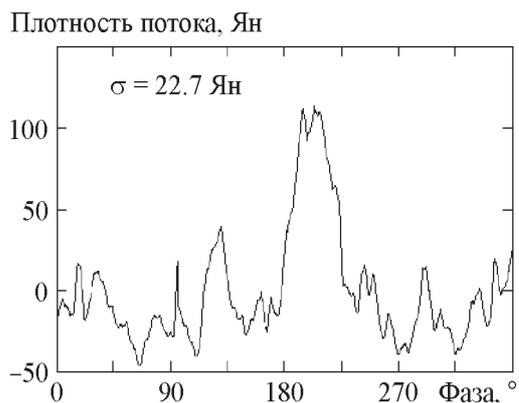
приведен на рис. 7, а. На этом рисунке показана зависимость интенсивности индивидуальных импульсов PSR B0809+74, зарегистрированных на частоте 24 МГц, в координатах: долгота, номер импульса, интенсивность. Рисунок иллюстрирует



**Рис. 9.** Наблюдения 24 ноября 2002 г. последовательности индивидуальных импульсов PSR B0809+74: а) – последовательность индивидуальных импульсов в координатах: долгота, номер импульса, интенсивность; б) – средний спектр флуктуаций интенсивности индивидуальных импульсов PSR B0809+74 в окне долгот главного импульса, область частот вблизи частоты  $f(T_3) = \pm 23/(256T_1)$  (где  $T_1$  – период вращения пульсара) в данном случае расщепляется, в излучении отчетливо видны узкие спектральные составляющие на частоте  $f = \pm 26/(256T_1)$ ; в) – средний профиль PSR B0809+74, полученный из последовательности 1021 индивидуального импульса (рис. 9, а), ширина среднего профиля по уровню 0.5 составляет  $19^\circ$ , в приведенном среднем профиле наблюдается низкоинтенсивное плато

трехмерную картину вариаций интенсивности импульсов на фоне непрерывного радиоизлучения, зарегистрированного в направлении на данный пульсар. Ширина оси долгот ( $360^\circ$ ) соответствует одному периоду вращения пульсара. На рис. 7, б приведено сечение последовательности индивидуальных импульсов,

изображенных на рис. 7, а, соответствующее долготе максимума среднего профиля (рис. 7, в). Вертикальные оси (т. е. оси, вдоль которых меняется номер импульса) на рис. 7, а и 7, б представлены в одном масштабе, это дает возможность оценить численно значения интенсивностей индивидуальных импульсов и вариаций кон-



**Рис. 10.** Пример регистрации индивидуального импульса PSR B 0950+08 на радиотелескопе УТР-2. Ширина импульса на уровне 0.25 от максимума составляет  $46.6^\circ$ . Наблюдения 4 февраля 2003 г. Накопление проведено в полосе частот 180 кГц;  $f = 24$  МГц,  $\Delta\tau = 5$  мс

тинуальной составляющей на рис. 7, а. Например, импульс № 830 в данной последовательности имеет максимальную интенсивность  $\approx 275$  Ян. На рис. 7, в изображен профиль, полученный при усреднении 927 импульсов, которые представлены на рис. 7, а. Ширина профиля по уровню 50 % составляет  $9.4^\circ$ . На этом профиле прослеживается наличие широкого низкоинтенсивного плато. Оси долгот на рис. 7, а, в приведены в одном масштабе. На рисунке 7, г изображены индивидуальные импульсы № 830, 826 из той же последовательности, что и на рис. 7, а. Ширины импульсов № 830 и 826 составляют  $3.4^\circ$  и  $6.8^\circ$  соответственно.

Рис. 8 и 9, б иллюстрируют результаты спектрального анализа последовательностей импульсов, изображенных на рис. 7, а и 9, а соответственно. Эти две последовательности получены в различные дни наблюдений для подтверждения повторяемости оцениваемых параметров радиоизлучения пульсара B0809+74 на частоте 24 МГц.

## Обсуждение полученных результатов

Во втором цикле наблюдений скорость регистрации была доведена до 2 мс. Вероятнее всего, быстрая регистрация позволила выделить в излучении ряда пульсаров субимпульсную компоненту. Свойства субимпульсов на высоких частотах хорошо известны. Эти компоненты радиоизлучения пульсаров дрейфуют в окне главного импульса. Соответственно, для субимпульсов возможно определить два параметра, которые являются периодами второго порядка  $T_2$  и  $T_3$  (по аналогии с периодом вращения пульсара  $T_1$ ). Один из них ( $T_2$ ) характеризует взаимное положение двух соседних субимпульсов в окне среднего профиля и, таким образом, он меньше периода вращения пульсара  $T_1$ . Другой ( $T_3$ ) характеризует минимальное время, через которое две дрейфовые полосы субимпульсной компоненты окажутся в одной фазе среднего профиля. Период  $T_3$  больше периода пульсара  $T_1$  в десять – несколько десятков раз. Для характеристики субимпульсов возможно определить производные параметры, например скорость дрейфа субимпульсов на частоте регистрации и т. п. Все параметры, характеризующие субимпульсную структуру радиоизлучения, являются менее стабильными, чем период вращения пульсара  $T_1$ , но все же их стабильность для каждого пульсара остается достаточной для уверенного обнаружения субимпульсов на высоких частотах. Таким образом, в диапазоне выше  $60 \div 100$  МГц существуют достаточно формализованные критерии, по которым выделяется субимпульсная компонента в радиоизлучении пульсаров.

В декаметровом диапазоне для идентификации субимпульсной компоненты невозможно использовать имеющуюся информацию о периодах  $T_2$  и  $T_3$  без дополнительных предположений. Во-первых, в низкочастотном диапазоне нельзя уверенно говорить о привязке фазы аномально интенсивных импульсов к определенной фазе (диапазону фаз) среднего профиля.

Отчасти это связано с условиями распространения на низких частотах, когда фаза генерации может несколько отличаться от фазы регистрации, отчасти использовавшееся временное разрешение ( $\Delta\tau = 5$  мс) являлось все еще недостаточным. Во-вторых, основным фактором, препятствующим выделению субимпульсной компоненты на частотах ниже 30 МГц, является то, что четкая идентификация каждого отдельного индивидуального импульса (или субимпульса) в декаметровом диапазоне невозможна в настоящее время и еще долго не будет возможна как по физическим, так и по техническим причинам. К физическим причинам следует отнести экспоненциально растущий в область низких частот уровень галактического фона (его средний спектральный индекс  $\approx -2.45$ ) и низкочастотный завал в средних спектрах интенсивности импульсного радиоизлучения пульсаров. К техническим причинам следует отнести недостаточную эффективную площадь как имеющихся в данном диапазоне радиотелескопов, так и тех, которые, по существующим проектам, будут наблюдать пульсары (в данном диапазоне) ближайšie 10 лет.

Поэтому для подтверждения факта регистрации субимпульсной компоненты в данном диапазоне можно использовать два обстоятельства:

1) увеличение ширины профиля главного импульса, связанное с увеличением времени накопления при усреднении;

2) обнаружение во флуктуационном спектре последовательности индивидуальных импульсов основной гармонике (и/или субгармоник), соответствующей периоду  $T_3$  (в предположении об идентичности данного периода в области высоких и низких частот, а также о его относительной стабильности в низкочастотном диапазоне).

Первое обстоятельство связано с тем, что, в отличие от высоких частот, в длинноволновом диапазоне вариации интенсивности являются аномальными. Допустив возможность существования отклонений интенсивности в 50 раз, можно

качественно подсчитать, какой относительный вклад в интенсивность среднего профиля дадут “обычные” импульсы (в предположении, что они всегда присутствуют в излучении) и аномально интенсивные импульсы. Положим, что относительная интенсивность “обычного” импульса  $I^o = 1$  (одна условная единица), а вероятность его регистрации – 95 %. Также положим, что относительная интенсивность “аномального” импульса  $I^a = 50$  (условных единиц), а вероятность его регистрации – 5 %. Тогда для сотни накопленных импульсов (без учета дрейфа) мы получим интенсивность среднего

профиля  $\langle I \rangle = 0.01 \left( \sum_{i=1}^{95} I_i^o + \sum_{j=1}^5 I_j^a \right)$ , где

первое слагаемое характеризует вклад в интенсивность среднего профиля “обычных” импульсов, а второе – аномально интенсивных. Легко видеть, что в данном примере интенсивность среднего профиля  $\langle I \rangle$  составит 3.45 условных единиц, из которых вклад “обычных” импульсов составит 0.95 условных единиц, а вклад аномально интенсивных импульсов составит 2.5 условных единиц. Понятно, что при подобных соотношениях стабилизация среднего профиля может наступить лишь при усреднении нескольких тысяч импульсов. Для подобных соотношений и характерных периодов обращения пульсара  $\sim 1$  с, стабилизация формы среднего профиля наступит лишь после  $1.5 \div 2$  ч усреднения. После такого усреднения проявления дрейфа субимпульсов в долготной области среднего профиля будут полностью сглажены. До того как стабилизация формы среднего профиля будет достигнута, должно наблюдаться увеличение ширины “динамического” среднего профиля и появление в нем низкоинтенсивных компонент. Это обстоятельство, если прямо и не подтверждает субимпульсную природу аномально интенсивных импульсов, то и не противоречит ей.

Второе обстоятельство подразумевает наличие стабильного периода  $T_3$  в области низких частот. Так ли это – до сих пор остается не вполне ясным. По данным рабо-

ты [17] можно предполагать, что стабильность этого периода в области низких частот меньше, чем в высокочастотной области. Наблюдательным фактом является то, что аномальное усиление одновременно не регистрируется на всех долготах в окне главного импульса. Это, по крайней мере, дает возможность утверждать, что либо в одно и то же время аномальное усиление отсутствует в широкой области долгот, либо интенсивность “затравочно-го” излучения, которое затем усиливается, как минимум на порядок ниже вне долгот с аномальной интенсивностью. Средний спектр флуктуаций интенсивности подчеркивает ту область долгот, в которой возникновение аномального усиления наиболее вероятно. Ширина такой области в среднем спектре больше, чем ширина отдельного аномально интенсивного импульса, что опять же не противоречит гипотезе о субимпульсном происхождении данных спектральных составляющих.

Еще одно свойство индивидуальных импульсов в декаметровом диапазоне проявляется в том, что отдельные импульсы существенно уже среднего профиля. А поскольку субимпульсы должны смещать свое положение (дрейфовать) вдоль окна главного импульса с каждым оборотом пульсара, то, сравнивая интенсивности и эффективные ширины средних импульсов с аналогичными параметрами индивидуальных импульсов и анализируя спектры флуктуаций интенсивностей отдельных импульсов, можно показать, что излучение индивидуальных импульсов обусловлено субимпульсной компонентой.

Видно также, что уровень флуктуационного шума при увеличении времени усреднения падает, а ширина импульсной компоненты растет. Но если падение уровня флуктуаций шума является естественным следствием увеличения времени усреднения, то рост ширины импульса отчасти можно объяснить дрейфом субимпульсной компоненты в окне среднего профиля.

В настоящей работе период такого дрейфа ( $T_3$ ) был оценен только для PSR B0809+74.

На рис. 7, а приведена последовательность индивидуальных импульсов PSR B0809+74, при анализе которой и была получена оценка периода дрейфа  $T_3$  для этого пульсара. Можно утверждать, что дрейфовые полосы, характерные для субимпульсов, видны в самой последовательности индивидуальных импульсов (рис. 7, а). Контрастность этих полос невысока по сравнению с высокочастотными данными, но на рис. 7 приведены наиболее контрастные данные, которые удалось получить в этом диапазоне до настоящего времени. Во многих других наблюдениях пульсара PSR B0809+74 уверенной регистрации дрейфовых полос получить не удалось. В данном же случае регистрация субимпульсной компоненты не вызывает сомнений (см. дальнейшее обсуждение) и, как видно из рис. 7, б-г, именно субимпульсы PSR B0809+74 претерпевают аномально интенсивное усиление. При этом их интенсивность достигает 275 Ян в максимуме (рис. 7, б, г). В это же время интенсивность излучения на соседних долготах по крайней мере на порядок ниже, т. к. ее уровень ниже порога обнаружения.

Для получения объективных оценок величины  $T_3$  представляется важным провести анализ спектра флуктуаций интенсивности для последовательности индивидуальных импульсов, представленной выше. Желательно также сравнить данные по крайней мере за два различных дня наблюдений, чтобы убедиться в повторяемости полученных результатов. Проведенный анализ спектра флуктуаций интенсивности индивидуальных импульсов данного пульсара, зарегистрированных 5 февраля 2003 г., показывает, что в относительно узкой области долгот окна главного импульса ( $\approx 15^\circ$ ) в этом спектре видна составляющая с максимумом на частоте  $f(T_3) = 0.08984375/T_1$ . Эта частотная особенность практически точно соответствует периоду  $T_3 \approx 11.1(1)T_1$  (частота  $0.09/T_1$ ), известному для пульсара B0809+74 из высокочастотных данных [18, 19]. Имеются определенные отличия в ширине облас-

тей излучения на частотах 24 и 400 МГц. Ширина флуктуационного спектра в долготной области на частоте 24 МГц не превышает  $15^\circ$ . В то же время для частоты 400 МГц область долгот субимпульсного излучения составляет  $22^\circ$ . Такие отличия могут быть обусловлены как недостаточной чувствительностью в декаметровом диапазоне, так и выделенным диапазоном долгот, в котором реализуется механизм аномального усиления, – по аналогии с выделенными областями долгот, в которых генерируются гигантские импульсы.

Разница заключается еще и в том, что добротность обнаруженного процесса в декаметровом диапазоне существенно ниже, чем, например, в дециметровом. Кроме того, низкочастотная область спектра флуктуаций в декаметровом диапазоне имеет низкоинтенсивные, но все же превышающие уровень шума составляющие в области субгармоник, соответствующих периоду  $T_3$  (т. е. на частотах ниже частоты  $f(T_3)$ ). Обнаружены также низкоинтенсивные спектральные составляющие на частотах, выше частоты  $f(T_3)$ . Эти факты говорят о том, что в декаметровом диапазоне регистрируемый период  $T_3$  менее стабилен, чем в области более высоких частот. В свою очередь, это может отражать тот факт, что регистрируемая фаза индивидуального импульса имеет статистический разброс относительно своего медианного значения из-за эффектов распространения, которые в низкочастотном диапазоне проявляются более контрастно, чем в высокочастотном. На эти случайные, в статистическом смысле, блуждания фазы внутри одного периода накладываются дополнительные временные модуляции интенсивности отдельных индивидуальных импульсов за счет наличия аномального усиления. Все это приводит к уширению спектра флуктуаций интенсивности индивидуальных импульсов. Но поскольку спектральные составляющие, расположенные вблизи  $f(T_3)$ , выражены наиболее контрастно, мы предполагаем, что основным “затраченным” излучением для ге-

нерации аномально интенсивных импульсов служит субимпульсная компонента в излучении пульсаров. Во всяком случае для PSR B0809+74 это наиболее вероятное предположение.

Оценки параметров радиоизлучения, полученные для разных дней наблюдений пульсара B0809+74, хорошо согласуются между собой. В частности, оценка периода  $T_3$ , определенная по данным от 24 ноября 2002 г., осталась неизменной. По этим же данным удалось оценить такой параметр, как скорость дрейфа ( $V_{др}$ ). Этот параметр был равен  $V_{др} = -(2.5^\circ \pm 0.2^\circ)/T_1$ . (Знак минус соответствует дрейфу субимпульсов от заднего фронта в окне главного импульса к его переднему фронту.)

Оценка ширины флуктуационного спектра в долготной области, определенная по данным от 24 ноября 2002 г., составляла  $25^\circ \pm 2^\circ$ . Последнее значение хорошо согласуется с оценкой ширины дрейфовой полосы субимпульсов из [18, 19] и с той оценкой, которую возможно получить, зная скорость дрейфа и величину  $T_3$ , как  $|V_{др}|_{T_3} = 27.75^\circ \pm 2.22^\circ$ .

Если по формальным критериям определять значение  $T_2$  из данных от 24 ноября 2002 г., то  $T_2 \approx 97 \pm 2$  мс или  $27^\circ \pm 0.6^\circ$ . В действительности, по имеющимся данным нельзя уверенно судить, существуют ли оба субимпульса в интервале долгот  $27^\circ$  в течение одного периода пульсара. В этом смысле наши результаты весьма похожи на результаты, полученные в [18]. Указанные выше параметры субимпульсного радиоизлучения хорошо согласуются с шириной среднего профиля для этого пульсара (см. рис. 5, а).

По данным от 24 ноября 2002 г., полученным для PSR B0809+74 (см. рис. 9), возможно построить эмпирическую модель поведения аномально интенсивной субимпульсной компоненты в той области долгот, где она регистрируется. Поскольку на долготах лидирующей компоненты среднего профиля субимпульсная компонента не была зарегистрирована, все дальнейшее описание будет касаться свойств субим-

пульсов на долготях наиболее интенсивной компоненты главного импульса. Во-первых, ширина всей флуктуационной особенности спектра вблизи частоты  $f(T_3)$  составляет  $25^\circ \pm 2^\circ$ . Во-вторых, во флуктуационном спектре имеются отчетливо выраженные субгармоники. В-третьих, на переднем (левом) краю дрейфовой полосы интенсивность субимпульсов слабее, чем в максимуме, кроме того, наряду с не очень контрастной спектральной особенностью вблизи частоты  $f(T_3)$ , проявляется спектральная особенность вблизи частоты  $8/(256T_1) \approx f(3T_3)$  (также не очень контрастная). Наличие второй особенности отражает тот факт, что некоторые субимпульсы регистрируются через время, близкое к  $3T_3 \approx 33.39T_1$ . Вблизи долгот максимума среднего профиля наблюдается весьма контрастная особенность спектра вблизи частоты  $f(T_3)$ , которая затем расщепляется. Частота второй, более узкой, компоненты составляет  $f \approx 26/(256T_1)$ . Общая ширина этой области долгот составляет  $\approx 15^\circ$ . Именно здесь регистрируются субимпульсы с наибольшими интенсивностями. Приблизительно с середины этой области (т. е. вблизи максимума среднего профиля) во флуктуационном спектре контрастно проявляется еще одна субгармоника вблизи частоты  $3/(256T_1) \approx f(7.7T_3)$ , ширина которой также составляет  $\approx 15^\circ$ . Эта субгармоника соответствует редким, но интенсивным импульсам/субимпульсам с периодом повторения  $\approx 85.3T_1$ . В это же время интенсивность субимпульсной компоненты с периодом  $T_3$  постепенно ослабевает. Кроме этого, во флуктуационном спектре видны отклики процессов, происходящих в весьма узких долготных интервалах ( $3 \div 6^\circ$ ). Ширина этих процессов соответствует ширине аномально интенсивных импульсов, изображенных на рис. 7, г. Обнаруженные спектральные компоненты имеют стабильность, соизмеримую со стабильностью субимпульсной компоненты, и могут свидетельствовать о наличии в излучении пульсаров структуры с характерным временем существования, меньшим, чем время существования субимпульсов.

Отметим, что только наличием субимпульсной компоненты невозможно объяснить все особенности радиоизлучения пульсаров в данном диапазоне частот. Низкоинтенсивные компоненты радиоизлучения, вероятнее всего, присутствуют в обеих приведенных последовательностях, т. к. средние профили, полученные из этих же данных, оказываются шире, чем отдельные импульсы (см. рис. 7, в, г). В широкой области долгот “динамического” среднего профиля с ростом числа накопленных импульсов появляется низкоинтенсивное плато. Для объяснения этого явления, а также некоторой части наблюдаемого расширения, следует предположить наличие низкоинтенсивной компоненты в радиоизлучении данного пульсара. Благодаря этой компоненте, по всей вероятности, формируется низкоуровневая часть среднего профиля, ширина которой превышает  $30^\circ$  для данного пульсара. Наличие такой компоненты подтверждается дисперсионным анализом, который показывает, что у PSR B0809+74 низкоинтенсивная компонента излучения присутствует на долготах  $\sim 60^\circ$ . Субимпульсная компонента в столь широкой области долгот не была зарегистрирована.

Для других пульсаров аналогичные параметры субимпульсного излучения на данном этапе работы не исследовались, но не вызывает сомнения, что они будут обнаружены, т. к. отношение сигнал/шум для “динамических” средних профилей всех пульсаров растет медленнее, чем  $\sqrt{N}$ , где  $N$  – число накопленных импульсов. В совокупности с ростом относительной ширины среднего профиля этот факт может объясняться дрейфом субимпульсной компоненты. Наличие низкоинтенсивной компоненты излучения в широкой области долгот является общим свойством декаметрового излучения пульсаров. Несмотря на то, что низкоинтенсивное излучение невозможно зарегистрировать в базисе индивидуальных импульсов, оно достаточно хорошо идентифицируется при дисперсионном анализе интенсивности радиоиз-

лучения пульсаров и проявляется в средних профилях, полученных при большом времени усреднения.

Отдельно следует отметить наиболее короткопериодический пульсар в данном цикле наблюдений – PSR B0950+08. Свойства его радиоизлучения в целом аналогичны свойствам радиоизлучения четырех других пульсаров, представленных в данной статье. Однако вероятность регистрации индивидуальных импульсов этого пульсара наименьшая из всех рассмотренных, а режим генерации аномально интенсивных импульсов весьма похож на ключевой. Те одиночные импульсы, которые мы регистрируем для этого пульсара, имеют плотность потока около 100 Ян и более (см. рис. 10), а импульсов с интенсивностями в диапазоне 30 ÷ 100 Ян весьма мало. Кроме того, индивидуальные импульсы этого пульсара являются очень широкими (характерная ширина ~ 45° и более), что соответствует результатам, полученным в [17, 18].

Рассмотрим панорамные наблюдения тех же пульсаров проведенные на DSP. Если предполагать, что индивидуальные импульсы, которые регистрирует DSP, являются короткими интенсивными субимпульсами (характерное время существования такого субимпульса в декаметровом диапазоне  $\leq 20$  мс), то можно видеть, что в полосе 18 ÷ 30 МГц такие импульсы не имеют сплошного спектра. Создается впечатление, что имеет место сложная картина мерцаний на неоднородностях межпланетной среды и ионосферы. При этом собственные флуктуации интенсивности излучения пульсара претерпевают модуляцию (усиление и ослабление) из-за фокусировок и разрушения волнового фронта. То, что эти мерцания происходят на неоднородностях близких к Земле, подтверждается тем, что наиболее сильное их проявление не претерпевает дисперсионного запаздывания во всей полосе частот. Вместе с тем на относительно больших интервалах времени (до 20 мин, см. рис. 4) видны менее интенсивные “U”-образные парабо-

лические структуры, которые можно связать с прохождением медленных ионосферных неоднородностей через луч зрения или с относительно медленными изменениями параметров ионосферы в целом.

Для всех выше перечисленных пульсаров в 90 ÷ 95 % времени наблюдений излучение индивидуальных импульсов в полосе 18 ÷ 30 МГц отсутствует. Наличие мерцаний не должно изменять среднего значения потока точечного источника. Этот факт означает, что для всех пяти пульсаров, у которых регистрируются индивидуальные импульсы в декаметровом диапазоне, большую часть времени либо присутствует слабая мода радиоизлучения, уровень которой ниже уровня ее обнаружения, либо радиоизлучение отсутствует вовсе и реализуется т. н. режим замирания (“nulling”). Вместе с тем нет сомнения, что в 1 ÷ 5 % времени наблюдений радиоизлучение всех перечисленных выше пульсаров имеет аномально высокую интенсивность. Интенсивность таких импульсов по крайней мере в 20 раз превышает интенсивность обычных импульсов. И только некоторую часть аномального увеличения интенсивности можно объяснить наличием мерцаний в межпланетной среде и ионосферной плазме.

Вероятнее всего, значительная часть увеличения интенсивности приходится на околопульсарную плазму или саму магнитосферу пульсара. В пользу этого можно привести два аргумента. Во-первых, характерное время наблюдаемых нами мерцаний составляет 10 ÷ 30 с, т. е. это время должно соответствовать времени изменения параметров плазменных неоднородностей на луче зрения. Таким образом, межзвездная среда из рассмотрения исключается, т. к. характерное время рефракционных вариаций в межзвездной среде – недели. Остается околопульсарная плазма (включая магнитосферу и пульсарный ветер), межпланетная среда и ионосфера. Во-вторых, полоса частот, в которой наблюдаются индивидуальные импульсы, имеет несколько характерных масштабов. Один из них

$\approx 1.5 \div 5$  МГц, а другой, проявляющийся реже,  $\approx 10$  МГц. Первый масштаб может соответствовать наличию ионосферных неоднородностей электронной концентрации, а второй – наличию неоднородностей в межпланетной среде. Однако присутствие таких неоднородностей не может объяснить всей картины, попавшей в поле зрения. Основное несоответствие, которое имеется между зарегистрированными данными и двухмасштабной моделью неоднородностей электронной концентрации, заключается в том, что наличие на луче зрения неоднородностей с поперечной дрейфовой скоростью не может изменить среднего потока точечного источника для времени усреднения, превышающего время прохождения десятка таких неоднородностей через луч зрения. В то же время наблюдаемое увеличение интенсивности индивидуальных импульсов относительно средних профилей составляет  $20 \div 50$  раз, что приводит к стабилизации среднего профиля при характерном числе усреднений, превышающем 5000 (в пересчете на время это составляет полтора часа для пульсаров с периодами вращения  $\sim 1$  с). Поэтому аномальное увеличение интенсивности невозможно объяснить только наличием быстрых мерцаний в межпланетной среде и/или ионосфере, т. к. в этом случае стабилизация среднего профиля наступала бы значительно раньше (через  $100 \div 1000$  с). Следовательно, усиление индивидуальных импульсов в значительной мере может осуществляться вблизи самого пульсара.

Качественный подсчет вкладов обычных и аномально мощных импульсов в интенсивность среднего профиля радиоизлучения для всех вышеперечисленных пульсаров говорит о том, что вклад наиболее интенсивных индивидуальных импульсов может быть сравнимым с вкладом обычных импульсов или даже превышать его. Наличие дрейфа субимпульсов приведет к тому, что сам средний профиль будет шире, чем отдельный субимпульс. Последнее обстоятельство мы и наблюдаем для всех вышеперечисленных пульсаров.

Все приведенные факты не противоречат гипотезе о том, что обнаруженные нами аномально мощные индивидуальные импульсы у пяти пульсаров в декаметровом диапазоне являются субимпульсами. Дальнейшее улучшение временного разрешения (вплоть до сотен микросекунд) весьма целесообразно в данном диапазоне, т. к., возможно, позволит зарегистрировать тонкую структуру индивидуальных импульсов.

### Заключение

1. Впервые в декаметровом диапазоне зарегистрировано излучение индивидуальных импульсов пяти пульсаров (B0809+74; B0834+06; B0943+10; B0950+08; B1133+16).

2. Пиковая плотность потока зарегистрированных индивидуальных импульсов для всех пульсаров в 20 и более раз превышает пиковую плотность потока средних профилей на частотах  $18 \div 30$  МГц.

3. Значительный вклад в интенсивность индивидуальных импульсов, которые регистрируются на частотах  $18 \div 30$  МГц, вероятнее всего, вносят аномально мощные субимпульсы.

4. Наблюдаемые особенности в динамических спектрах индивидуальных импульсов пульсаров в этом диапазоне не могут полностью объясняться влиянием мерцаний на неоднородностях межпланетной среды или ионосферы. По-видимому, значительный вклад в усиление индивидуальных импульсов вносит магнитосфера самого пульсара и/или околопульсарная плазма.

5. Несмотря на то, что во многих наблюдательных проявлениях аномально интенсивные импульсы ведут себя аналогично гигантским импульсам, полностью отождествить эти два явления пока не представляется возможным, в основном из-за значительных различий в отношениях сигнал/шум, которые достижимы в настоящее время в декаметровом и более высокочастотных диапазонах. Вероятно, дальнейшие исследования прольют свет на возможность такого отождествления.

Авторы благодарят INTAS и Министерство образования и науки Украины, грантовая и контрактная поддержка которых (grants INTAS97-1964, INTAS\_CNES97-1450, INTAS 99-0183, INTAS 03-5727, контракты МОНУ №2М/729-2001 и № Ф8/343-2004) обеспечила выполнение этой работы.

### Литература

1. Bruck Yu. M., Ustimenko V. Yu. The interpulse emission structure in pulsars // *Astron. Astrophys.* – 1979. – Vol. 80, No. 2. – P. 170-173.
2. Bruck Yu. M. Decametric Emission by Pulsars // *Austral. J. Phys.* – 1987. – Vol. 40, No. 6. – P. 861-870.
3. Phillips J. A. and Wolszczan A. Interpulse Emission from Pulsars at 25 MHz // *Astrophys. J. Lett.* – 1989. – Vol. 344. – L. 69-71.
4. Брук Ю. М., Дэвис Д. Г., Кузьмин А. Д. и др. Спектры радиоизлучения пяти пульсаров в диапазоне 17-1420 МГц // *Астрон. ж.* – 1978. – Т. 55, №5. – С. 1031-1039.
5. Kuzmin A. D. et al. Spectra of nine pulsars at 61÷1420 MHz // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1978. – Vol. 185, No. 2. – P. 441-449.
6. Hewish A., Bell S. J., Pilkington J. D. H., Scott P. F., Collins R. A. Observation of a rapidly pulsating radio source // *Nature.* – 1968. – Vol. 217, No. 5130. – P. 709-713.
7. Брук Ю. М., Ульянов О. М. Долготно-частотные особенности радиоизлучения PSR 1133+16 и PSR 0809+74 на декаметровых длинах волн // Тез. докл. XXV Радиоастрономической конференции. – Пушино (Россия). – 1993. – С. 110-111.
8. Deshpande A. A. & Radhakrishnan V. Pulsar Observations at 34.5 MHz using the Garibidanur Telescope: I // *J. Astrophys. Astron.* – 1992. – Vol. 13. – P. 151-165.
9. Ramkumar P. S. & Deshpande A. A. Determination of Linear Polarization and Faraday Rotation of Pulsar Signals from Spectral Intensity Modulation // *J. Astrophys. Astron.* – 1999. – Vol. 20. – P. 37-50.
10. Ершов А. А., Кузьмин А. Д. // *Письма астрон. ж.* – 2003. – Т. 29, №2. – С. 91-96.
11. [http://www.lofar.org/p/astronomy\\_spec.htm](http://www.lofar.org/p/astronomy_spec.htm).
12. Мень А. В., Содин Л. Г., Шарькин Н. К. и др. Принципы построения и характеристики антенны радиотелескопа УТР-2 // *Сборник Антенны.* – М.: Связь. – 1978. – №26. – С. 15-57.
13. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2 //

- Сборник Антенны.* – М.: Связь. – 1978. – №26. – С. 3-15.
14. Lecacheux A., Rosolen C., Rucker H. O. et al. Digital techniques for ground based low frequency radio astronomy: Preprint / Observatory Paris-Meudon. – France: 1998. – 11 p.
  15. Taylor J. H., Manchester R. N. and Lyne A. G. Catalog of 558 Pulsars // *Astrophys. J. Suplem.* – 1993. – Vol. 88. – P. 529.
  16. Roger R. S., Costain C. H., Landecker T. L. and Swerdlyk C. M. The Radio Emission from Galaxy at 22 MHz // *Astronomy & Astrophysics Supplement Series.* – 1999. – Vol. 137. – P. 7-19.
  17. Asgekar A. Single-pulse Studies of Pulsars at Decameter Wavelengths // A thesis of the Degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Science. Department of Physics Indian Institute of Science. – Bangalore (India): 2001.
  18. Taylor J. H., Huguenin G. R. Observations of Rapid Fluctuations of Intensity and Phase in Pulsar Emissions // *Astrophys. J.* – 1971. – Vol. 167. – P. 273-291.
  19. Смит Ф. Г. Пульсары / Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 269 с.

### Реєстрація індивідуальних імпульсів пульсарів В0809+74; В0834+06; В0943+10; В0950+08; В1133+16 в декаметровому діапазоні хвиль

**О. М. Ульянов, В. В. Захаренко,  
О. О. Коноваленко, А. Лекашо,  
К. Розолен, Г. О. Рукер**

Зареєстровано індивідуальні імпульси випромінювання п'яти пульсарів (PSR В0809+74; В0834+06; В0943+10; В0950+08; В1133+16) на частотах 18 ÷ 30 МГц. Це випромінювання найвірогідніше зумовлене наявністю потужних субімпульсів з піковою інтенсивністю, що у 20 та більше разів перевищує пікову інтенсивність середніх профілів. Інтенсивність окремих імпульсів сильно промодульована за частотою та за часом. Вірогідність реєстрації аномально інтенсивних імпульсів в декаметровому діапазоні не перевищує кількох відсотків. Як правило, такі імпульси реєструються короткими серіями (не більше 10 імпульсів). Характерні значення смуги реєстрації імпульсів з аномальними інтенсивностями лежать в межах 0.2 ÷ 0.5 октави.

**Detection of Individual Pulses  
from Pulsars B0809+74; B0834+06;  
B0943+10; B0950+08 and B1133+16  
in the Decameter Wavelengths**

**O. M. Ulyanov, V. V. Zakharenko,  
A. A. Konovalenko, A. Lecacheux,  
C. Rosolen, and H. O. Rucker**

The single pulse emission from five pulsars (PSR B0809+74; B0834+06; B0943+10; B0950+08 and B1133+16) is detected at frequencies  $18 \div 30$  MHz. This radio emission is most probably due to the strong subpulses with peak intensities of 20 and more times larger than those of the average profiles. The intensity of single pulses is strongly frequency- and time-modulated. The detection probability for the anomalously intense pulses is as low as a few percent in the decameter wavelengths. As a rule, such pulses are detected in short series (of no more than 10 pulses). Typical band widths of detected pulses with anomalous intensities lie within 0.2 to 0.5 octave.