

## РАДІОАСТРОНОМІЯ І АСТРОФІЗИКА

DOI: <https://doi.org/10.15407/rpra23.03.147>

УДК 524.354.4, 520.27

PACS numbers: 97.60.Gb,  
95.55.Jz

В. В. ЗАХАРЕНКО<sup>1</sup>, А. А. КОНОВАЛЕНКО<sup>1</sup>, С. Н. ЕРИН<sup>1</sup>,  
И. Н. БУБНОВ<sup>1</sup>, Я. Ю. ВАСИЛЬЕВА<sup>1</sup>, О. М. УЛЬЯНОВ<sup>1</sup>,  
В. Ю. ЯЦЫНА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Радиоастрономический институт НАН Украины,  
ул. Мистецтв, 4, г. Харьков, 61002, Украина  
Email: zakhar@rian.kharkov.ua, s.yerin@rian.kharkov.ua

<sup>2</sup> Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,  
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина

### ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПУЛЬСАРОВ С ПОМОЩЬЮ СЕКЦИИ РАДИОТЕЛЕСКОПА ГУРТ

*Предмет и цель работы: Определение возможности исследования радиоизлучения пульсаров в метровом диапазоне волн с помощью малоразмерной субрешетки низкочастотного радиотелескопа нового поколения ГУРТ. Разработка методики совместных наблюдений радиоизлучения пульсаров в метровом и декаметровом диапазонах длин волн соответственно на радиотелескопах ГУРТ и УТР-2 для определения характеристик радиоизлучения в широкой полосе частот.*

*Методы и методология: Уникальное расположение двух радиотелескопов перекрывающихся частотных диапазонов на территории одной обсерватории, а значит в условиях, когда среда распространения одинаково влияет на прохождение импульсного радиоизлучения пульсаров, регистрируемого этими телескопами, дает возможность определить спектр потока излучения этих источников в широкой полосе частот. Исследованы усредненные за  $2 \div 4$  ч импульсы пульсаров. Гибкость структуры радиотелескопа УТР-2 и наличие нескольких радиоастрономических приемников позволяют анализировать сигналы, принятые как всем телескопом в стандартном аддитивном режиме, так и отдельными его секциями. Одновременная запись сигналов в этих конфигурациях позволяет контролировать влияние ионосферы на распространение сигнала в частотном диапазоне УТР-2.*

*Результаты: На субрешетке радиотелескопа ГУРТ, состоящей из 25 активных антенных элементов, обнаружено излучение 16 известных пульсаров в диапазоне частот  $30 \div 70$  МГц. Совместно с радиотелескопом УТР-2 проведены две сессии одновременных широкополосных наблюдений радиоизлучения пульсаров в диапазоне  $16.5 \div 70$  МГц. В диапазоне частот  $16.5 \div 70$  МГц получены средние значения плотности потока излучения и меры дисперсии, а также вариации этих параметров для пульсаров B1133+16, B1508+55 и B1919+21.*

*Заключение: Выполненные в работе исследования подтверждают возможность эффективного использования отдельных секций радиотелескопа ГУРТ для радиоастрономических наблюдений, в частности, для исследования радиоизлучения пульсаров. Долговременные наблюдения пульсаров в широком диапазоне частот позволяют получить средние значения плотности потока излучения, спектрального индекса, меры дисперсии пульсаров, а также вариации этих величин.*

*Ключевые слова: поток, импульсное радиоизлучение пульсаров, декаметровый и метровый диапазоны длин волн, радиотелескоп*

#### 1. Введение

Исследование радиоизлучения пульсаров в декаметровом диапазоне представляет собой очень непростую задачу. Поэтому не удивительно, что

за более чем 40 лет со времени открытия пульсаров в 1967 г. на всех низкочастотных радиотелескопах мира в этом диапазоне было обнаружено лишь немногим более десятка пульсаров. Несмотря на достаточно подробные исследования [1] и открытие такого явления, как аномально интенсивные импульсы [2], исследователи постоянно пробовали увеличить количество исследуемых объектов. Значительный рост их наблюдаемой

© В. В. Захаренко, А. А. Коноваленко, С. Н. Ерин,  
И. Н. Бубнов, Я. Ю. Васильева, О. М. Ульянов,  
В. Ю. Яцына, 2018

популяции произошел благодаря высокочувствительному радиотелескопу УТР-2, широкополосному приему и поисковому режиму с точным определением дисперсионной задержки импульсов каждого пульсара [3]. Это, однако, делает актуальным более глубокое исследование спектральных и временных характеристик протектированных пульсаров в низкочастотной области, от 10 до 100 МГц, где они до сих пор недостаточно изучены.

Если в диапазоне  $10 \div 30$  МГц самым эффективным инструментом является наибольший в мире радиотелескоп УТР-2 [4], оснащенный приемниками с высоким частотным и временным разрешением [5], то в диапазоне  $30 \div 100$  МГц столь эффективные инструменты только разрабатываются. Наряду с ЛОФАР [6] и LWA [7] свою высокую эффективность показал телескоп нового поколения ГУРТ (Гигантский Украинский РадиоТелескоп) [8].

Важно отметить, что одновременные измерения на близко расположенных радиотелескопах УТР-2 и ГУРТ позволят значительно уменьшить ошибки при совместной обработке данных этих двух телескопов. Поскольку состояние ионосферы и влажность почвы (которая влияет в конечном итоге на эффективную площадь телескопа) будут весьма близки, спектральные характеристики исследуемых источников на обоих телескопах будут подвергаться похожим изменениям в каждой конкретной измерительной сессии. Следует упомянуть также о значительной долговременной переменности плотности потока радиоизлучения некоторых пульсаров, показанной еще в пионерской работе Э. Хьюиша и др. [9]. Эту переменность еще только предстоит детально изучить в низкочастотном диапазоне, и она также может сильно исказить данные измерений при одновременном их проведении [10] на нескольких радиотелескопах в разных диапазонах волн.

Очень большой интерес к исследованию радиоизлучения на самых низких частотах вызван тем, что именно в этом диапазоне достигается максимальная чувствительность к таким параметрам, как мера дисперсии  $DM$  (dispersion measure), мера вращения и постоянная времени рассеяния. Это происходит из-за сильной частотной зависимости указанных характеристик.

Например, постоянная времени рассеяния обратно пропорциональна примерно четвертой степени частоты. Поэтому понижение среднегеометрической частоты рабочего диапазона и расширение его границ (в нашем случае 10 МГц – нижняя граница частотного диапазона УТР-2 и 70 МГц – верхняя граница ГУРТ) позволяют измерять упомянутые выше величины с очень большой точностью. Например, при запаздывании сигналов нижней частоты диапазона  $f_L$  по отношению к верхней  $f_H$  в сотни секунд и различных характерных деталях среднего профиля с характерной длительностью 10 мс погрешность определения  $DM$  будет меньше 0.0001 номинального значения.

Однако очевидным препятствием для быстрого получения спектральных характеристик в диапазоне  $10 \div 70$  МГц является очень малая эффективная площадь  $A_e$  секции (субрешетки) ГУРТ (параметры радиотелескопа подробно описаны в работах [11–15]) по сравнению с эффективной площадью радиотелескопа УТР-2 и невозможность исследовать одиночные импульсы пульсаров так, как это сделано в работах [16, 17]. Даже если использовать сумму сигналов двух поляризаций секции радиотелескопа ГУРТ, то  $A_e$  в диапазоне  $30 \div 70$  МГц примерно равна  $700 \text{ м}^2$ , что в 200 раз меньше, чем эффективная площадь УТР-2 в диапазоне  $10 \div 30$  МГц ( $140000 \text{ м}^2$ ). Несмотря на то, что совместная работа таких различных телескопов кажется малоэффективной, можно показать, что при изучении средних профилей пульсаров это не так. Во-первых, температура галактического фона зависит от частоты в среднем по небесной сфере примерно как  $f^{-2.55}$ . То есть при средних частотах УТР-2 и ГУРТ, равных 20 и 50 МГц соответственно, температура шума Галактики на высоких частотах упадет более чем в 10.3 раза. Поток так называемых “секундных” пульсаров (период вращения которых близок к 1 с) в низкочастотном диапазоне, напротив, как правило, возрастает с частотой в степени  $1 \div 4$ . То есть в случае если у выбранного для наблюдений пульсара на секции ГУРТ спектральный индекс равен 1, то сигнал пульсара будет в  $200/(10.3 \cdot 2.5) \approx 7.8$  раз меньше, чем на УТР-2.

Учитывая то, что на низких частотах собственный шум системы мал по сравнению с фоновым

шумом радиоизлучения Галактики и системную шумовую температуру можно заменить яркостной температурой фонового радиоизлучения, можно записать:

$$\Delta S_{\min} = \frac{\text{SNR} \cdot l k_B T_{bg}}{A_e \sqrt{\Delta t \Delta f} (\tau_p / P)},$$

где  $\Delta S_{\min}$  – флуктуационная чувствительность (минимально обнаружимый поток излучения) радиотелескопа на уровне одного среднеквадратичного отклонения; SNR – отношение сигнал/шум, необходимое для уверенного обнаружения сигнала;  $l$  – параметр, характеризующий согласование поляризации падающей электромагнитной волны и поляризации приемной антенны (для неполяризованной волны и линейно поляризованной антенны  $l = 2$ , для неполяризованной волны и антенны с двумя линейными поляризациями  $l = 1$ );  $k_B$  – постоянная Больцмана;  $T_{bg}$  – яркостная температура фонового радиоизлучения Галактики;  $\Delta t$  и  $\Delta f$  – полоса частот и время накопления сигнала;  $\tau_p$  – длительность импульса пульсара;  $P$  – период повторения импульсов пульсара.

Расчет показывает, что при 4 ч накопления радиоизлучения пульсара B1133+16, полосе частот 40 МГц и скважности импульсов  $0.1P$  отношение сигнал/шум для секции ГУРТ, учитывая падение значения шума фона Галактики, а также расширение полосы частот наблюдений и наличие двух линейных поляризаций, составляет

$$\text{SNR} = \frac{\Delta S A_e \sqrt{\Delta t \Delta f} (\tau_p / P)}{l k_B T_{bg}} = \frac{0.6 \cdot 10^{-26} \cdot 10 \cdot 350 \sqrt{40 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 0.1}}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 5 \cdot 10^3} = 74.515.$$

Плотность потока радиоизлучения пульсара B1133+16 ( $\sim 0.6$  Ян в центре диапазона 30 ÷ 70 МГц) рассчитана по данным из табл. 2 в [3]).

Для иллюстрации описанных выше трудностей при наблюдениях в декаметровом диапазоне считаем SNR для секции УТР-2 ( $A_e \sim 12000 \text{ м}^2$ , плотность потока 0.3 Ян в центре частотного диапазона 16.5 ÷ 33 МГц):

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= \frac{\Delta S A_e \sqrt{\Delta t \Delta f} (\tau_p / P)}{l k_B T_{bg}} = \\ &= \frac{0.3 \cdot 10^{-26} \cdot 10 \cdot 12 \cdot 10^3 \sqrt{16 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 0.1}}{2 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 20 \cdot 10^3} = \\ &= 100.986. \end{aligned}$$

Таким образом, чувствительность секций ГУРТ и УТР-2 к радиоизлучению пульсара, который имеет достаточно малый спектральный индекс, близки.

Не следует забывать еще два обстоятельства. Как правило, средний профиль пульсаров расширяется с понижением частоты. По результатам [3, 18] расширение в диапазоне между 20 и 50 МГц может составить  $1.5 \div 2$  раза. Но примерно во столько же раз возрастает пиковый поток пульсара на верхних частотах, поскольку в расчете учитывается средняя плотность потока пульсара за период. И очень важным является воздействие помех в частотном диапазоне УТР-2 (особенно ниже 20 МГц). Их уровень на несколько порядков превышает галактический фон, а значит, они полностью маскируют полезный сигнал космического источника излучения. Данные частотных каналов, пораженных помехами, приходится исключать из анализа, что приводит к ухудшению отношения сигнал/шум для УТР-2 из-за уменьшения эффективной полосы интегрирования сигнала. Следует учитывать также влияние ионосферы. УТР-2 имеет достаточно узкий луч ( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ), что иногда из-за рефракции приводит к тому, что источник уходит из диаграммы направленности (ДН) [19]. Это может также приводить к уменьшению SNR при длительном накоплении сигнала.

Из приведенного анализа вытекает, что различия в чувствительности УТР-2 и секции ГУРТ при наблюдениях пульсаров не столь велики, а следовательно, анализ одновременно записанных данных должен быть достаточно плодотворным.

В настоящей статье мы ставим целью провести наблюдения на одной секции радиотелескопа ГУРТ всех пульсаров, которые были обнаружены в работе [3], чтобы оценить возможности совместных наблюдений, а также разработать методику измерений спектральных характеристик

тик и их долговременных изменений при одновременном наблюдении радиотелескопами УТР-2 и ГУРТ. Во втором разделе будет приведено описание аппаратуры и режимов наблюдений, в третьем – результаты наблюдений. В заключительном разделе будут очерчены перспективы дальнейших исследований.

## 2. Аппаратура и наблюдения

На радиотелескопе УТР-2 в качестве регистрирующей аппаратуры использовался приемник DSPZ [20] с аппаратной частотной разрешающей способностью 4 кГц и временным разрешением 7.944 мс. В дальнейшем частотное и временное разрешения изменялись путем суммирования по частоте и/или времени для получения SNR, соответствующего необходимому представлению результатов (512 парциальных каналов по 32.227 кГц или 1 суммарный канал). На секции ГУРТ был установлен приемник ADR [5, 21], имеющий настраиваемое спектральное разрешение. При записи использовалось спектральное разрешение 4.88 кГц и временное разрешение 9.83 мс. В дальнейшем спектральное разрешение и временное разрешение изменялись для приведения к параметрам, близким к параметрам обработки данных УТР-2 (512 парциальных каналов по 78.125 кГц или 1 суммарный канал).

Длительность сеансов наблюдений составляла 4 ч. При этом время старта выбиралось за  $(2 \pm 1)$  ч до верхней кульминации каждого пульсара. Был определен перечень источников, при наблюдении которых должно обеспечиваться достаточное SNR (желательно не менее 10) на секции радиотелескопа ГУРТ, для планирования дальнейших синхронных наблюдений.

С целью уменьшить помеховые сигналы и влияние неоднородностей ионосферы для совместных с УТР-2 наблюдений было выбрано три пульсара, В1133+16, В1508+55 и В1919+21, которые в апреле и мае кульминировали в ночное время (две сессии наблюдений в 2017 г.: первая – с 10 по 17 апреля, вторая – 15–17, 20 и 21 мая).

В первой сессии наблюдений на УТР-2 велась обработка только суммарного сигнала антенн “Север–Юг” и “Запад”. Во второй сессии наблюдений для учета влияния рефракции использовались также сигналы 1-й секции антенны “Север–Юг” и 9-й секции антенны “Запад” для рас-

чета плотности потока пульсаров при плохих ионосферных условиях, поскольку секции имеют широкую ДН ( $4^\circ \times 12^\circ$ ).

Данные, записанные с помощью двух радиотелескопов, проходили процедуру очистки от помех [22, 23]. Запозывание (в секундах) между нижней и верхней частотами диапазона (в герцах) для пульсара с мерой дисперсии  $DM$  (измеряется в парсеках на кубический сантиметр) равно  $10^{16} DM / (2.410331(f_L^{-2} - f_H^{-2}))$ . Интервал анализа по мере дисперсии составлял  $\pm 0.5$  пк/см<sup>3</sup>, шаг – 0.002 пк/см<sup>3</sup>. Определение  $DM$  проводилось в точке максимума усредненного по времени и частоте среднего профиля импульса.

## 3. Результаты

На секции радиотелескопа ГУРТ было проведено наблюдение 33 из 40 пульсаров, радиоизлучение которых было обнаружено в [3] и которые представляли интерес для дальнейших совместных измерений. Кроме того, были проведены сеансы наблюдения двух пульсаров, имеющих значение меры дисперсии более 30 пк/см<sup>3</sup>, а также относительно недавно открытого пульсара J0243+5267.

### 3.1. Обнаружение радиоизлучения пульсаров на секции радиотелескопа ГУРТ

Было проведено несколько сессий наблюдений каждого из упомянутых пульсаров с целью определения максимально достижимого SNR. В табл. 1 приведено общее число сеансов наблюдения каждого пульсара и количество удачных. С достаточным SNR было продетектировано 16 пульсаров, причем 15 из них, кроме пульсара В2217+47, который имеет значение меры дисперсии  $\approx 43.5$  пк/см<sup>3</sup> [24], наблюдались также на УТР-2.

В табл. 2 приведен список наблюдавшихся пульсаров с полученными значениями меры дисперсии и плотности потока радиоизлучения каждого пульсара. Учитывая ошибки в определении температуры фона (до 30 %) и характеристик телескопа с учетом проводимости подстилающей поверхности (10 ÷ 15 %), мы оцениваем ошибку определения плотности потока пульсаров в  $\leq 50$  % (указана в круглых скобках). Для сравнения в табл. 2 приведены значения

Таблица 1. Список пульсаров, наблюдавшихся на секции радиотелескопа ГУРТ

№	Название пульсара	Обнаружен УТР-2	Обнаружен ГУРТ	Количество сеансов наблюдений	Количество успешных сеансов с SNR > 5
1	B0031-07	+	+	5	4
2	B0114+58	-	-	2	0
3	B0138+59	-	-	4	0
4	B0148-06	+	-	2	0
5	B0301+19	-	-	2	0
6	B0320+39	+	+	4	1
7	B0329+54	+	+	3	2
8	B0355+54	-	-	3	0
9	B0450+55	+	-	2	0
10	B0525+21	-	-	3	0
11	B0531+21	-	-	3	0
12	B0609+37	-	-	4	0
13	B0809+74	+	+	>10	>10
14	B0820+02	-	-	2	0
15	B0823+26	+	+	1	1
16	B0834+06	+	+	>10	>10
17	B0919+06	+	?	2	1
18	B0943+10	+	+	2	2
19	B0950+08	+	+	6	6
20	B1112+50	+	-	3	0
21	B1133+16	+	+	>10	>10
22	B1237+25	+	+	3	2
23	B1508+55	+	+	>10	>10
24	B1530+27	+	-	1	0
25	B1540-06	+	-	1	0
26	B1604-00	+	-	1	0
27	B1642-03	-	-	3	0
28	B1822-09	+	+	3	1
29	B1919+21	+	+	>10	>10
30	B1929+10	+	-	3	0
31	B2016+28	+	+	2	2(SNR=4)
32	B2020+28	-	-	1	0
33	B2110+27	+	-	4	0
34	B2217+47	-	+	1	1
35	J0243+5267	-	-	1	0
36	J0459-0210	-	-	1	0

плотности потока пульсаров из работ [24] (на частоте 49.5 МГц) и [25] (отмечены звездочкой, частоты измерений приведены рядом в квадратных скобках).

Кроме значений плотности потока для пульсаров B0031-07 и B2217+47, результаты наших измерений практически не отличаются от данных других авторов. Дальнейшие долговре-

менные измерения дадут более надежные результаты.

На рис. 1–3 показаны средние профили импульсов, их спектрограммы и двумерные зависимости интенсивности от фазы импульса и меры дисперсии для пульсаров B0031-07, B0329+54, B0809+74, B0823+26, B0834+06, B0919+06, B0943+10, B0950+08, B1133+16, B1237+25, B1508+55, B1822-09, B1919+21, B2016+28, B2217+47.

На рис. 4–6 приведены результаты наблюдений пульсаров B1133+16, B1508+55, B1919+21 одновременно на УТР-2 и ГУРТ.

Следует обратить внимание на то, что из-за широкой полосы частот, в которой производится суммирование, и из-за очень значительного роста постоянной времени рассеяния на частотах 16 ÷ 20 МГц двухкомпонентный профиль пульсара B1133+16 (рис. 4) оказывается сильно размытым.

На рис. 5 хорошо видно, что найденные в автоматическом режиме на УТР-2 и ГУРТ значения меры дисперсии для пульсара B1508+55 отличаются на один шаг операции поиска максимума сигнала (0.002 пк/см<sup>3</sup>). Как было принято в работе [3], ошибка определения меры дисперсии находится из условия падения на 5 % максимума усредненного по всему частотному диапазону сигнала. Если для пульсаров B1133+16 и B1919+21 такая ошибка составляет два шага по мере дисперсии (0.004 пк/см<sup>3</sup>), то для B1508+55 при SNR менее 20 на УТР-2 и ГУРТ она возрастает до четырех шагов (0.008 пк/см<sup>3</sup>). Отметим, что поскольку эффективная площадь УТР-2 приблизительно в 200 раз превышает эффективную площадь секции ГУРТ, значения SNR, полученные на этих телескопах, оказываются практически одинаковыми. То есть спектральный индекс в диапазоне от метровых до декаметровых волн для этого пульсара может быть значительно больше, чем указано в [3] (1.84), и приближаться к спектральному индексу (4.54), рассчитанному для этого пульсара при одновременных измерениях внутри декаметрового диапазона (использовались частоты 20 и 25 МГц). На вопрос, какое из значений более точно отображает поведение спектра в низкочастотном диапазоне, должны дать ответ именно длительные одновременные наблюдения на обоих телескопах. Следует отме-

Таблица 2. Перечень пульсаров, детектированных с помощью субрешетки ГУРТ, и их характеристики

Название пульсара	$DM$ , пк/см <sup>3</sup>	SNR, разы	Период, с	Плотность потока, Ян	
				ГУРТ	Stovall [24] / Извекова [25]*
V0031-07	10.896	6	0.943	320 (160)	6370 (3190)
V0320+39	26.082	5	3.032	300 (150)	220 (110) / 230* (120)* [61 МГц]
V0329+54	26.780	24	0.714	1190 (600)	4160 (2080)
V0809+74	5.752	22	1.292	1280 (640)	1870* (350)* [61 МГц]
V0823+26	19.475	14	0.531	350 (180)	450 (230)
V0834+06	12.858	44	1.274	1550 (780)	4680 (2340)
V0919+06	27.325	5	0.431	810 (410)	770* (160)* [85 МГц]
V0943+10	15.330	17	1.098	470 (240)	1290* (350)* [61 МГц]
V0950+08	2.970	36	0.253	1470 (740)	2330* (620)* [102.5 МГц]
V1133+16	4.487	15	1.188	6000 (3000)	4710 (2360)
V1237+25	9.260	6	1.382	170 (90)	510 (250)
V1508+55	19.623	15	0.740	2000 (1000)	2130 (1060)
V1822-09	19.408	5	0.769	3100 (1550)	2220 (1110)
V1919+21	12.431	42		3000 (1500)	2100* (430)* [61 МГц]
V2016+28	14.176	5	0.558	270 (140)	590 (290)
V2217+47	43.548	13	0.538	750 (380)	10100 (5050)

титель, что результат детектирования пульсара V1508+55 является также наглядной иллюстрацией чрезвычайных трудностей, возникающих при исследованиях декаметрового радиоизлучения пульсаров.

На рис. 6 показан результат детектирования пульсара V1919+21. Здесь также прослеживается заметное падение плотности потока радиоизлучения на нижней границе каждого поддиапазона, а следовательно, наличие достаточно большого спектрального индекса, что соответствует ранее полученным результатам [3].

### 3.2. Одновременные наблюдения пульсаров

На рис. 7 приведена зависимость соотношения сигнал/шум от даты наблюдений для пульсара V1133+16. По имеющимся данным трудно определить, что является причиной изменений SNR ото дня ко дню в 3.5 раза в период с 12 по 15 апреля 2017 г. К возможным причинам следует отнести как факторы, связанные с источником сигнала (изменение плотности потока излучения пульсара, влияние мерцаний в межзвездной среде), так и факторы, связанные с особенностями наблюдений (влияние неоднородностей ионосферы, изменение параметров подстилающей поверхности и т. п.). Выше упоминалось, что переменность радиоизлучения пульсаров на самых низ-

ких частотах до сих пор исследована недостаточно.

На результаты измерений могла заметно повлиять ионосферная рефракция. Поэтому для подтверждения либо опровержения влияния ионосферы на уровень сигнала в течение сеанса наблюдений было решено проводить одновременно запись не только суммарного сигнала антенн “Север–Юг” и “Запад” УТР-2 (узкий луч ДН), но и широкой ДН отдельных секций УТР-2.

Для обработки результатов одновременных наблюдений было разработано дополнительное программное обеспечение. Оно осуществляет учет меток времени и обеспечивает обработку одних и тех же участков наблюдений как без учета дисперсионной задержки между наивысшей частотой рабочего диапазона ГУРТ и более низкими частотами обоих телескопов, так и с учетом вышеупомянутой задержки. Последняя возможность необходима для определения меры дисперсии с высокой точностью и в случае индивидуальных импульсов (например, гигантских импульсов пульсара в Крабовидной туманности), и при долговременных сессиях наблюдений усредненных импульсов. Эти программы предназначены также для совместной обработки измеренных плотностей потоков излучения пульсаров в диапазонах частот УТР-2 и ГУРТ.

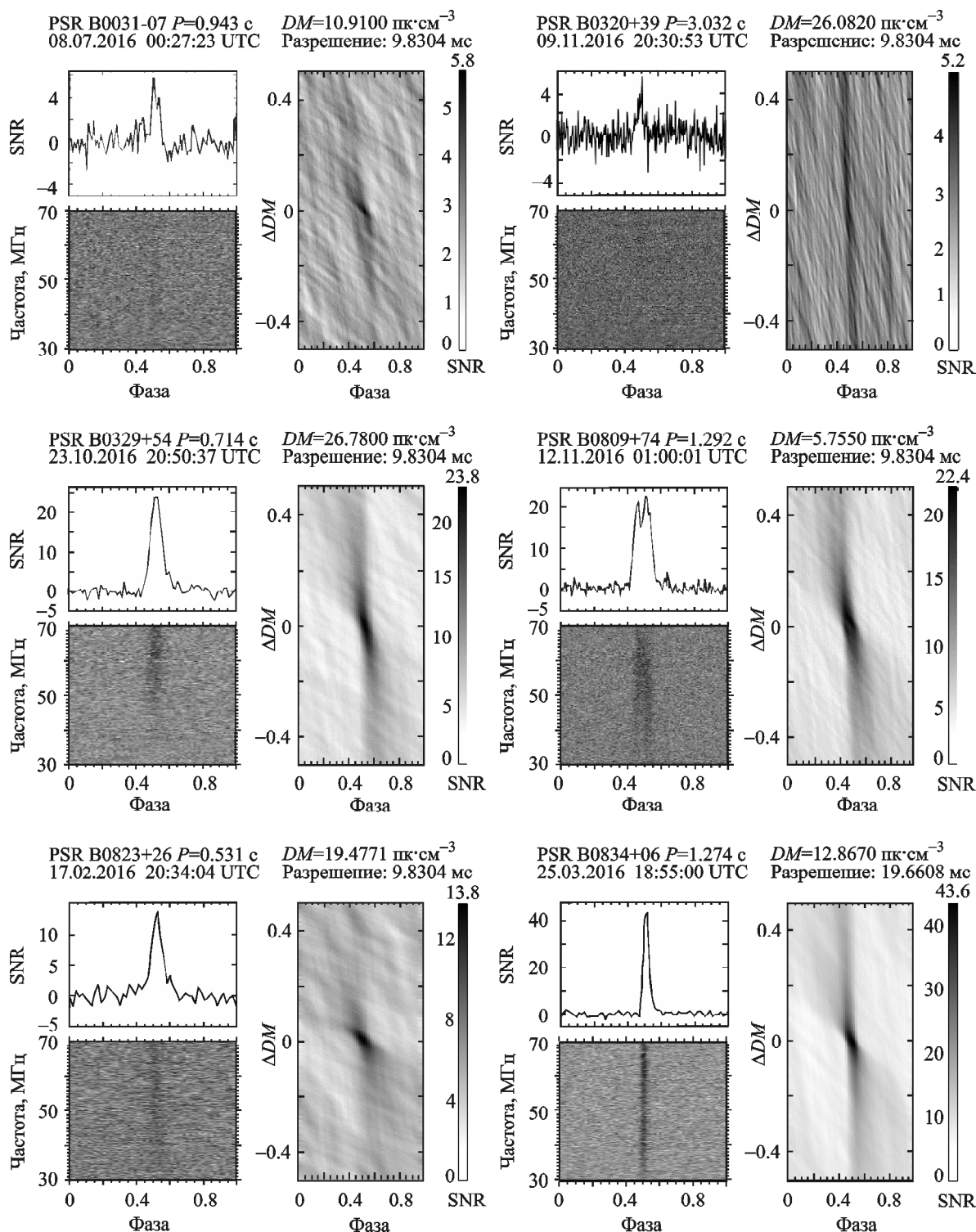


Рис. 1. Средние профили импульсов, их спектрограммы, а также двумерные зависимости интенсивности от фазы импульса и меры дисперсии для пульсаров B0031-07, B0320+39, B0329+54, B0809+74, B0823+26, B0834+06

Результаты одновременных длительных наблюдений трех пульсаров на радиотелескопах ГУРТ (одной секцией), УТР-2 (суммар-

ной ДН) и секциями № 1 и № 9 УТР-2 приведены на рис. 8–10. Целью этих наблюдений является апробирование методики долговременных изме-

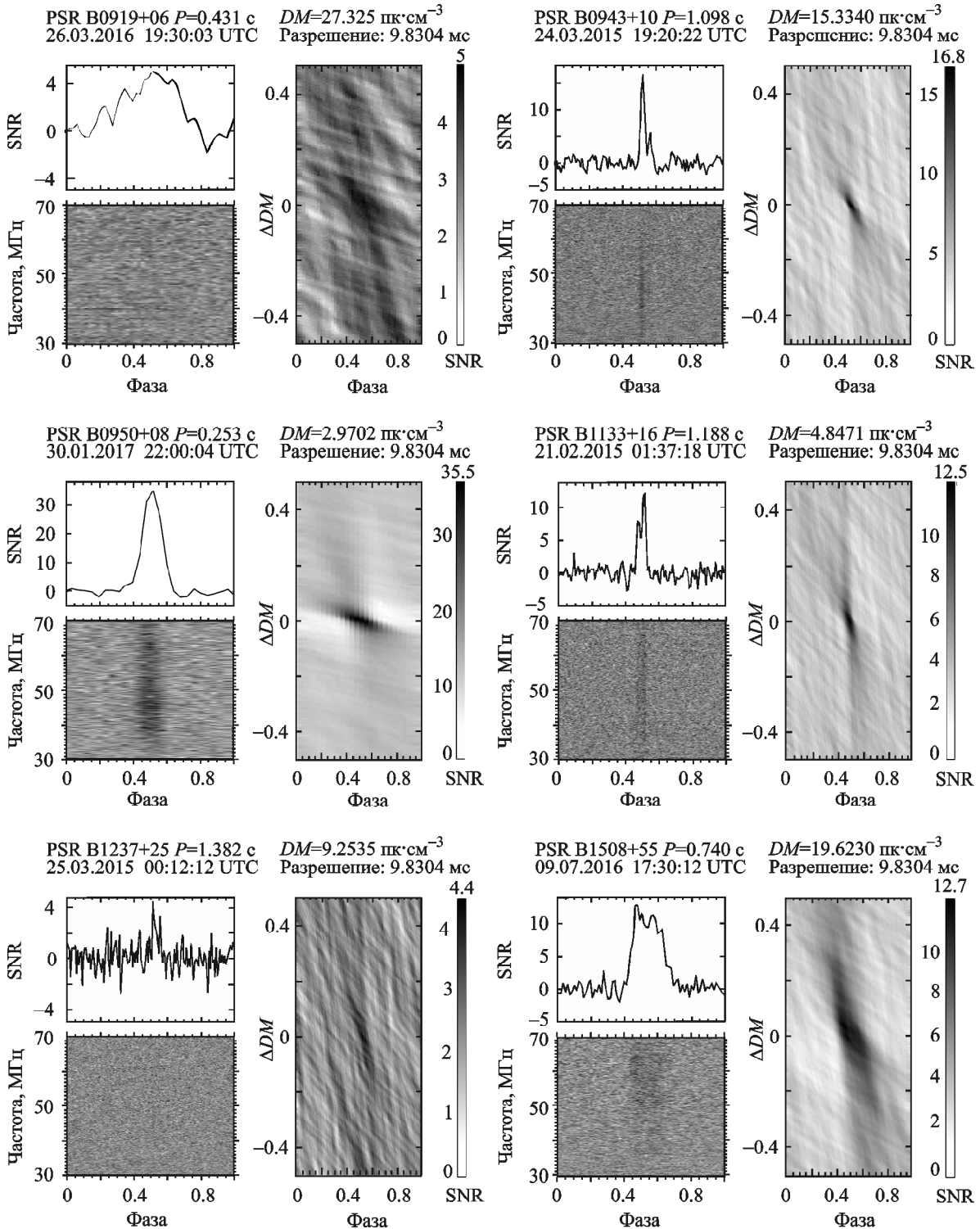


Рис. 2. Средние профили импульсов, их спектрограммы, а также двумерные зависимости интенсивности от фазы импульса и меры дисперсии для пульсаров B0919+06, B0943+10, B0950+08, B1133+16, B1237+25, B1508+55

рений потока пульсаров прежде всего для получения данных о спектральном индексе этих источников и его вариациях в диапазоне частот 10 ÷ 70 МГц.

Расчет потока пульсаров для каждого дня наблюдений проводился методом, использованным в работе [3], с учетом данных об эффективной площади секции ГУРТ [12].



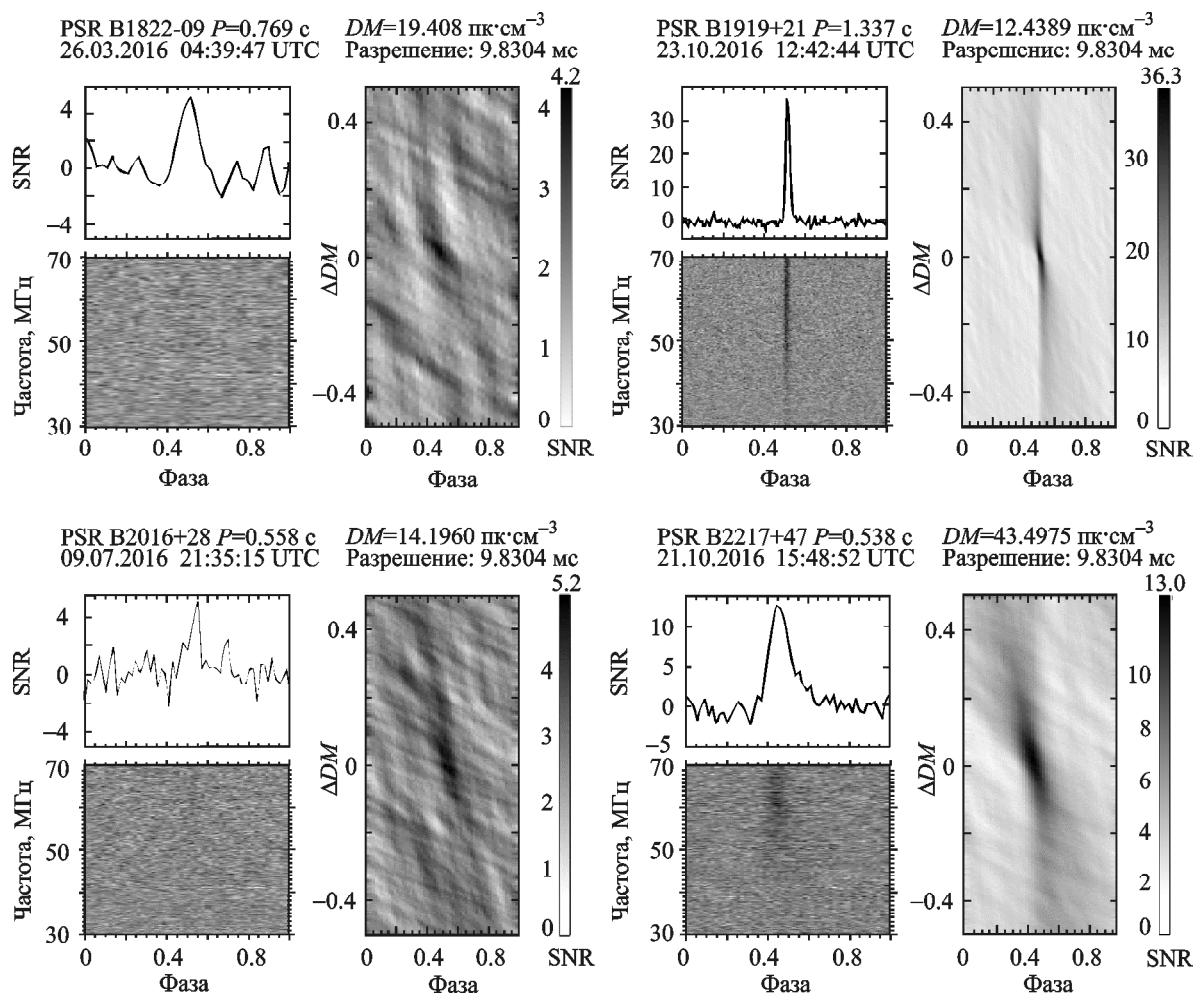


Рис. 3. Средние профили импульсов, их спектрограммы, а также двумерные зависимости интенсивности от фазы импульса и меры дисперсии для пульсаров B1822-09, B1919+21, B2016+28, B2217+47

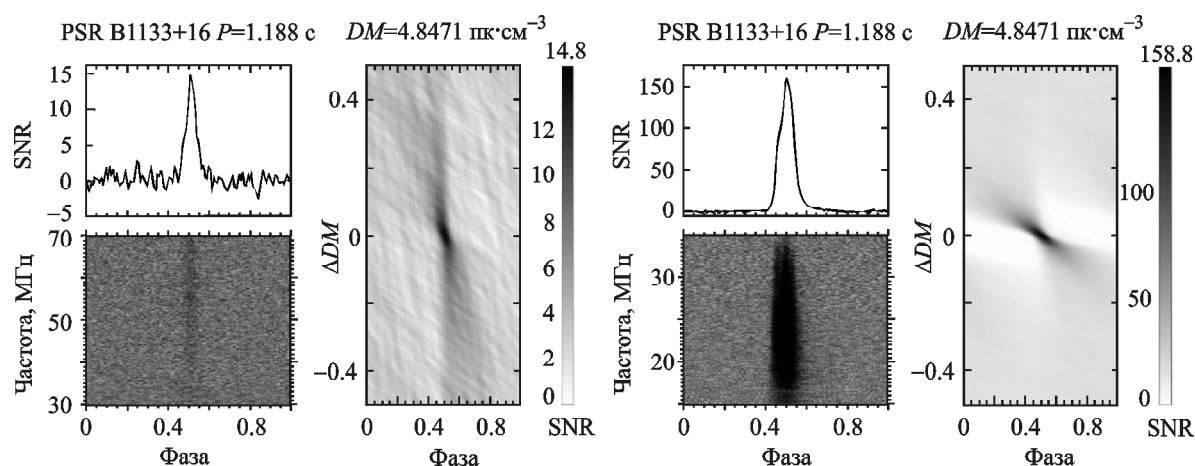


Рис. 4. Результаты совместного наблюдения пульсара B1133+16 на радиотелескопах ГУРТ (слева) и УТР-2 (справа)

Как видно из приведенных рисунков, значения плотности потока радиоизлучения пульсаров, которые получены на ГУРТ, более стабильны, чем полученные на УТР-2. Сильные (более чем

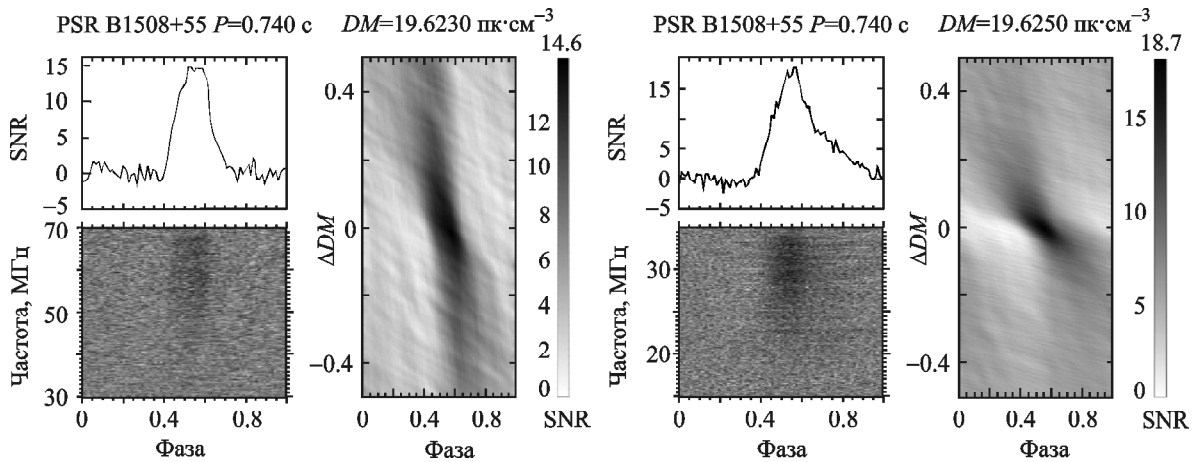


Рис. 5. Результаты совместного наблюдения пульсара В1508+55 на радиотелескопах ГУРТ (слева) и УТР-2 (справа)

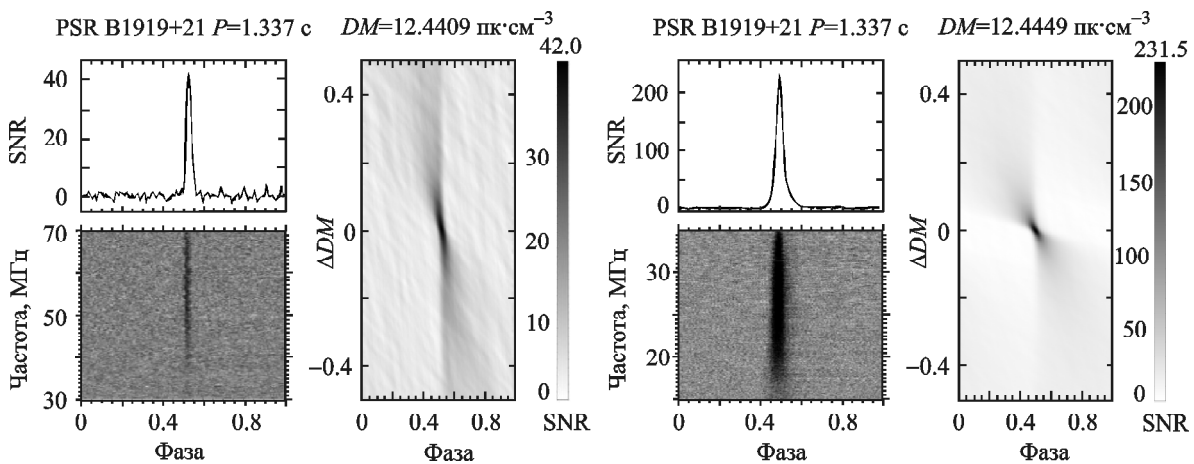


Рис. 6. Результаты совместного наблюдения пульсара В1919+21 на радиотелескопах ГУРТ (слева) и УТР-2 (справа)

в 20 раз) изменения интенсивности радиоизлучения пульсара В1919+21 наблюдались 15, 16 и 21 мая только в диапазоне частот УТР-2 и отсутствуют в данных ГУРТ.

Тем не менее средние значения плотности потока пульсаров достаточно стабильны и заметной корреляции (одновременного роста или одновременного падения интенсивности в данных обоих радиотелескопов) не обнаруживается. Однако временной ряд наблюдений еще слишком мал для статистических выводов.

Результаты определений меры дисперсии (рис. 11–13) находятся в интервале погрешностей (определяется как смещение меры дисперсии, при котором значение максимума накопленного по частоте сигнала падает на 5 %) для всех трех пульсаров, и более заметных вариаций не обнаружено.

#### 4. Выводы и перспективы

В представленной работе проведено детектирование 16 известных пульсаров с помощью секции радиотелескопа ГУРТ, состоящей всего из 25 активных антенных элементов общей эффективной площадью 350 м<sup>2</sup> на частоте 40 МГц. Стоит отметить, что в смежном декаметровом диапазоне за 43 года наблюдений (с момента открытия пульсаров в 1967 г. и до 2010 г.) всеми низкочастотными радиотелескопами мира было открыто радиоизлучение только 12 пульсаров, включая гигантские импульсы пульсара в Крабовидной туманности. Эти факты свидетельствуют как об очень высокой эффективности и чувствительности секций радиотелескопа ГУРТ, так и о чрезвычайно больших трудностях для исследователей пульсаров в декаметровом диапазоне.

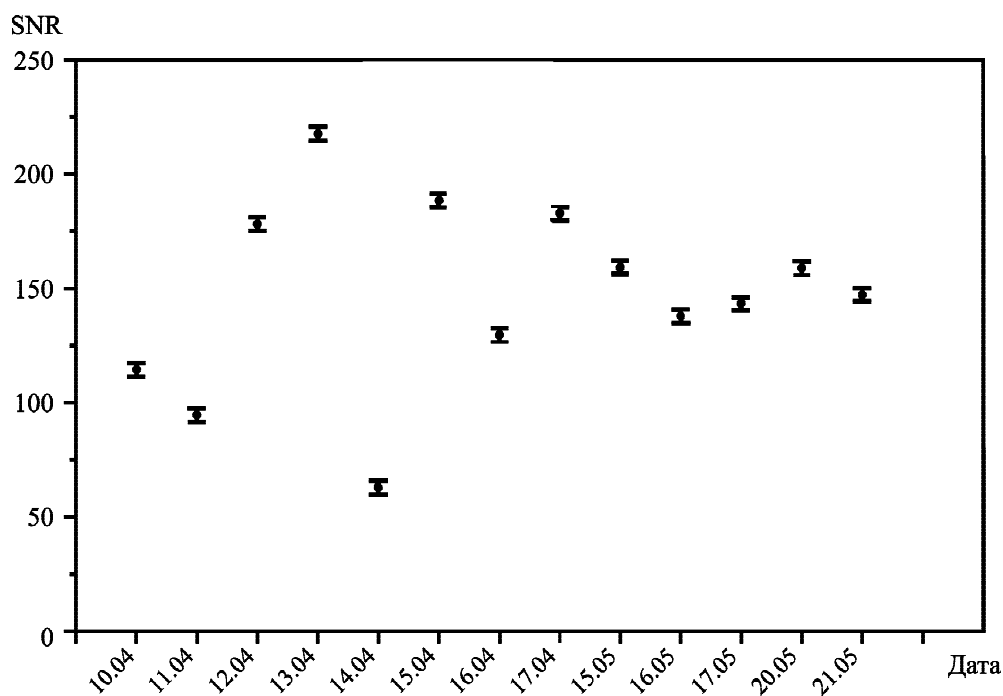


Рис. 7. Соотношение сигнал/шум для пульсара B1133+16, полученное при наблюдениях на УТР-2 в течение двух измерительных сессий

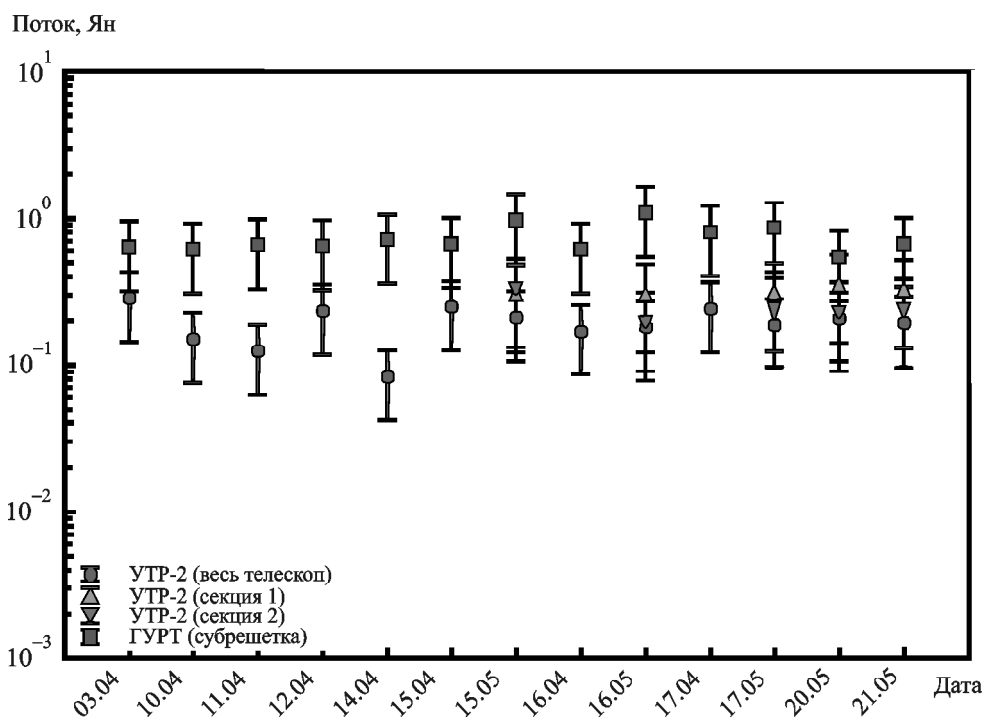


Рис. 8. Зависимость потока излучения пульсара B1133+16 от даты наблюдений в течение двух сессий одновременных наблюдений

Обнаружение сигналов 16 пульсаров явилось основанием для постановки задачи долговременного исследования спектральных и временных характеристик радиоизлучения пульсаров в низкочастот-

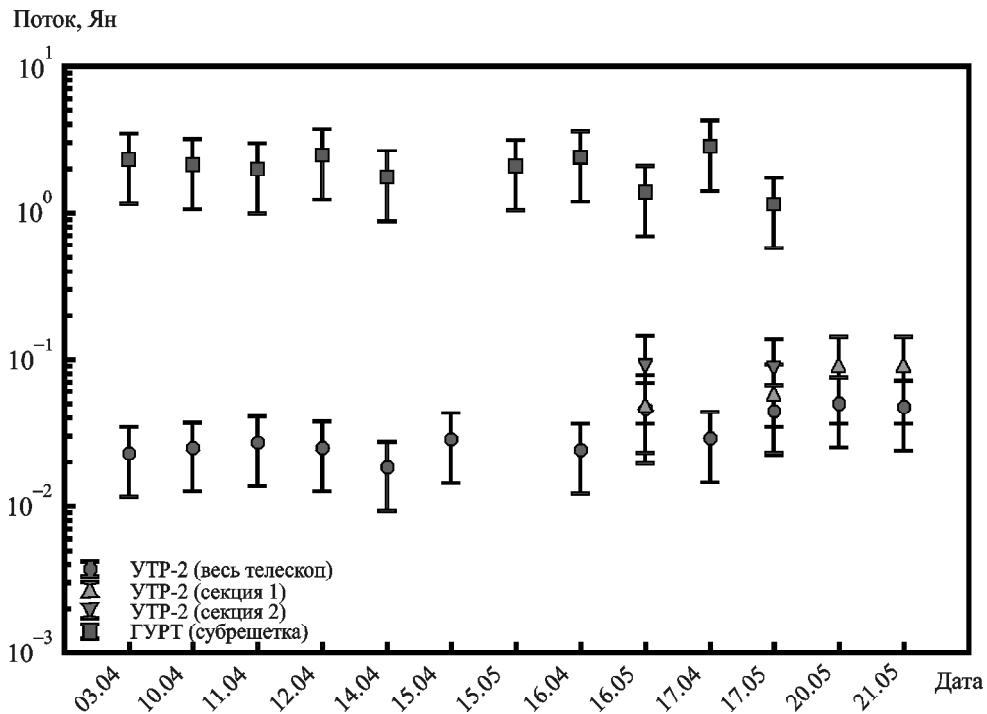


Рис. 9. Зависимость потока излучения пульсара В1508+55 от даты наблюдений в течение двух сессий одновременных наблюдений (15 апреля, 20 и 21 мая наблюдения не проводились на ГУРТ, 15 мая – на УТР-2 и 20 и 21 мая – на секции № 9 УТР-2)

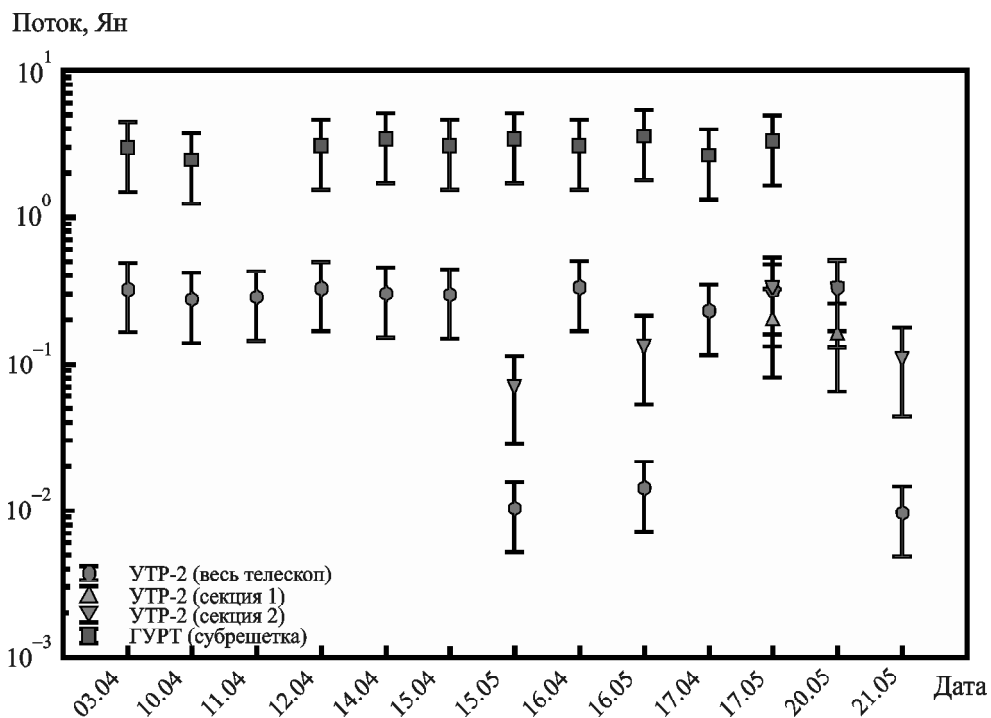


Рис. 10. Зависимость потока излучения пульсара В1919+21 от даты наблюдений в течение двух сессий одновременных наблюдений (11 апреля, 20 и 21 мая наблюдения не проводились на ГУРТ, 15, 16 и 21 мая – на секции № 1 УТР-2)

ном диапазоне. Для получения данных синхронных одновременных наблюдений в широкой полосе

частот метрового и декаметрового диапазонов длин волн с помощью радиотелескопа УТР-2 и секции

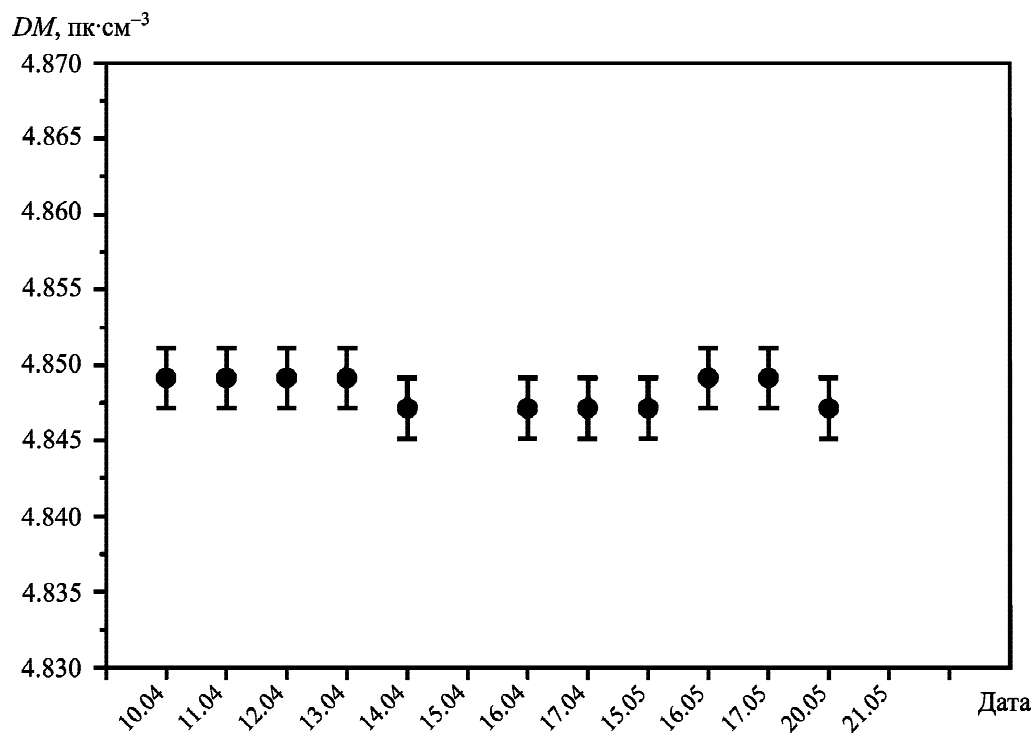


Рис. 11. Зависимость  $DM$  от даты наблюдений в течение двух сессий наблюдений на УТР-2 для пульсара B1133+16

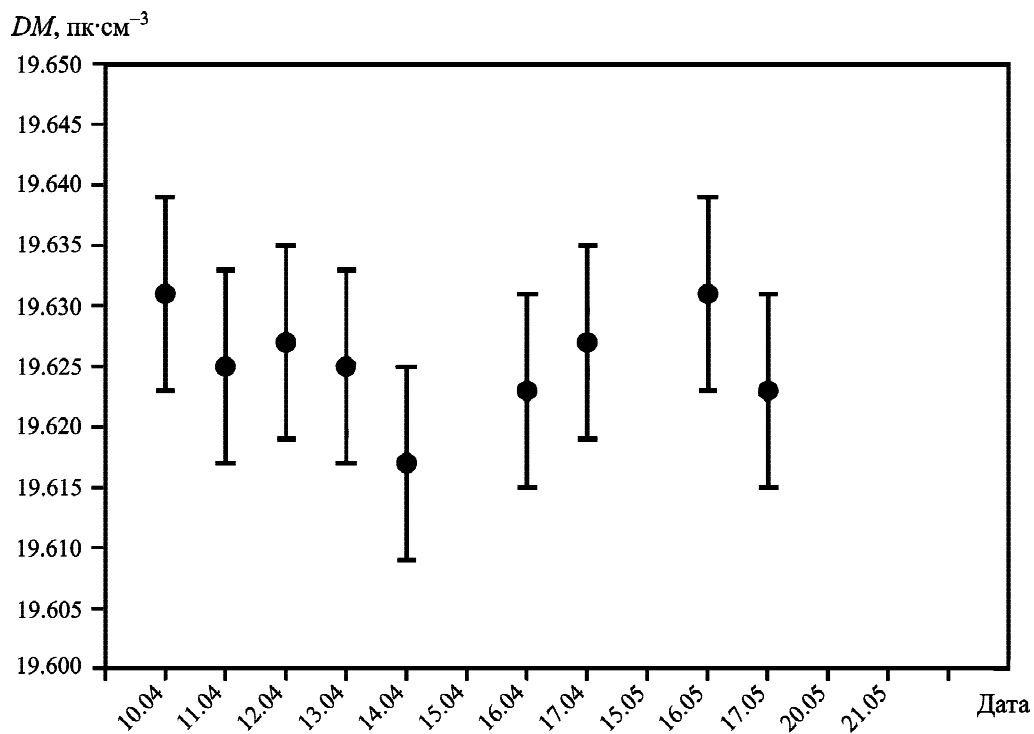


Рис. 12. Зависимость  $DM$  от даты наблюдений в течение двух сессий наблюдений на УТР-2 для пульсара B1508+55

радиотелескопа ГУРТ была разработана методика наблюдений и обработки полученных данных.

Широкие возможности комбинации сигналов различных структурных элементов радиоте-

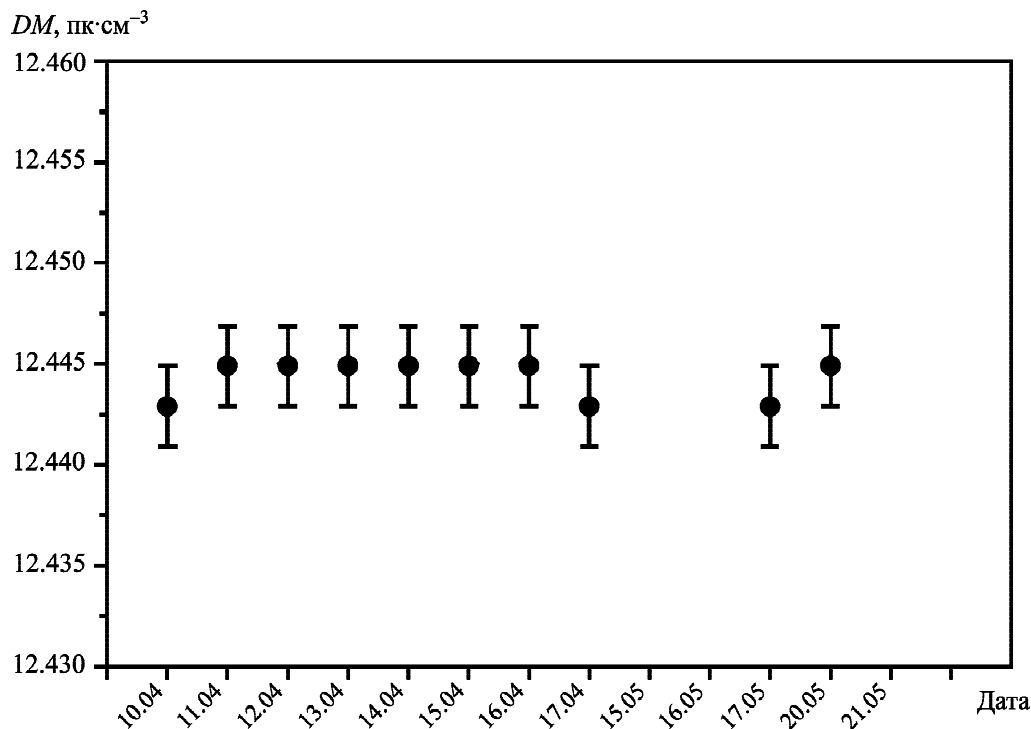


Рис. 13. Зависимость  $DM$  от даты наблюдений в течение двух сессий наблюдений на УТР-2 для пульсара В1919+21

лескопа УТР-2 (12 секций, 2 плеча радиотелескопа) с помощью нескольких двухканальных цифровых приемников дают возможность контролировать влияние ионосферы на распространение сигнала.

Долговременные совместные измерения радиоизлучения пульсаров позволят надежно определить их спектр, выявить возможные долговременные вариации или тренды таких параметров, как спектральный индекс или мера дисперсии, что важно для исследований пульсаров и среды распространения сигналов.

Нет сомнений, что включение в эксперимент всех действующих секций радиотелескопа ГУРТ (сейчас это 5 секций) в качестве единого инструмента в разы повысит эффективность запланированных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ulyanov O. M., Zakharenko V. V., and Bruk Y. M. The parameters of pulsar subpulse emission at decameter wavelengths. *Astron. Rep.* 2008. Vol. 52, Is. 11. P. 917–924. DOI: 10.1134/S1063772908110061
2. Ульянов О. М., Захаренко В. В., Коноваленко А. А., Лекашо А., Розолен К., Рукер Х. О. Обнаружение индивидуальных импульсов пульсаров В0809+74; В0834+06; В0943+10; В0950+08; В1133+16 в декаметровом диапазоне волн. *Радиофизика и радиоастрономия.* 2006. Т. 11, № 2. С. 113–133.
3. Zakharenko V. V., Vasylieva I. Y., Konovalenko A. A., Ulyanov O. M., Serylak M., Zarka P., Griebmeier J.-M., Cognard I., and Nikolaenko V. S. Detection of decametre wavelength pulsed radio emission of 40 known pulsars. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2013. Vol. 431, Is. 4. P. 3624–3641. DOI: 10.1093/mnras/stt470
4. Konovalenko A., Sodin L., Zakharenko V., Zarka P., Ulyanov O., Sidorchuk M., Stepkin S., Tokarsky P., Melnik V., Kalinichenko N., Stanislavsky A., Koliadin V., Shepelev V., Dorovskyy V., Ryabov V., Koval A., Bubnov I., Yerin S., Gridin A., Kulishenko V., Reznichenko A., Bortsov V., Lisachenko V., Reznik A., Kvasov G., Mukha D., Litvinenko G., Khristenko A., Shevchenko V. V., Shevchenko V. A., Belov A., Rudavin E., Vasylieva I., Miroshnichenko A., Vasilenko N., Olyak M., Mylostna K., Skoryk A., Shevtsova A., Plakhov M., Kravtsov I., Volvach Y., Lytvinenko O., Shevchuk N., Zhouk I., Bovkun V., Antonov A., Vavriv D., Vinogradov V., Kozhin R., Kravtsov A., Bulakh E., Kuzin A., Vasilyev A., Brazhenko A., Vashchishin R., Pylaev O., Koshovyv V., Lozinsky A., Ivantyshin O., Rucker H. O., Panchenko M., Fischer G., Leca-cheux A., Denis L., Coffre A., Griebmeier J.-M., Tagger M., Girard J., Charrier D., Briand C., and Mann G. The modern radio astronomy network in Ukraine: UTR-2, URAN and GURT. *Exp. Astron.* 2016. Vol. 42, Is. 1. P. 11–48. DOI: 10.1007/s10686-016-9498-x
5. Zakharenko V., Konovalenko A., Zarka P., Ulyanov O., Sidorchuk M., Stepkin S., Koliadin V., Kalinichenko N.,

- Stanislavsky A., Dorovskyy V., Shepelev V., Bubnov I., Yerin S., Melnik V., Koval A., Shevchuk N., Vasylieva I., Mylostna K., Shevtsova A., Skoryk A., Kravtsov I., Volvach Y., Plakhov M., Vasilenko N., Vasylykivskiy Y., Vavriv D., Vinogradov V., Kozhin R., Kravtsov A., Bulakh E., Kuzin A., Vasilyev A., Ryabov V., Reznichenko A., Bortsov V., Lisachenko V., Kvasov G., Mukha D., Litvinenko G., Brazhenko A., Vashchishin R., Pylaev O., Koshevyy V., Lozinsky A., Ivantyshyn O., Rucker H. O., Panchenko M., Fischer G., Lecacheux A., Denis L., Coffre A., and Griebmeier J.-M. Digital Receivers for Low-Frequency Radio Telescopes UTR-2, URAN, GURT. *J. Astron. Instrum.* 2016. Vol. 5, Is. 4. id. 1641010. DOI: 10.1142/S2251171716410105
6. Van Haarlem M. P., Wise M. W., Gunst A. W., Heald G., McKean J. P., Hessels J. W. T., de Bruyn A. G., Nijboer R., Swinbank J., Fallows R., Brentjens M., Nelles A., Beck R., Falcke H., Fender R., Hörandel J., Koopmans L. V. E., Mann G., Miley G., Röttgering H., Stappers B. W., Wijers R. A. M. J., Zaroubi S., van den Akker M., Alexov A., Anderson J., Anderson K., van Ardenne A., Arts M., Asgekar A., Avruch I. M., Batejat F., Bähren L., Bell M. E., Bell M. R., van Bemmel I., Benne- ma P., Bentum M. J., Bernardi G., Best P., Bîrzan L., Bonafede A., Boonstra A.-J., Braun R., Bregman J., Brei- tling F., van de Brink R. H., Broderick J., Broekema P. C., Brouw W. N., Brügger M., Butcher H. R., van Cappellen W., Ciardi B., Coenen T., Conway J., Coolen A., Cor- stanje A., Damstra S., Davies O., Deller A. T., Dettmar R.-J., van Diepen G., Dijkstra K., Donker P., Doorduyn A., Dromer J., Drost M., van Duin A., Eislöffel J., van Enst J., Ferrari C., Frieswijk W., Gankema H., Garrett M. A., de Gasperin F., Gerbers M., de Geus E., Griebmeier J.-M., Grit T., Gruppen P., Hamaker J. P., Hassall T., Hoefl M., Holties H. A., Horneffer A., van der Horst A., van Hou- welingen A., Huijgen A., Iacobelli M., Intema H., Jack- son N., Jelic V., de Jong A., Juette E., Kant D., Karaster- giou A., Koers A., Kollen H., Kondratiev V. I., Koois- tra E., Koopman Y., Koster A., Kuniyoshi M., Kramer M., Kuper G., Lambropoulos P., Law C., van Leeuwen J., Le- maitre J., Loose M., Maat P., Macario G., Markoff S., Masters J., McFadden R. A., McKay-Bukowski D., Mei- jering H., Meulman H., Mevius M., Middelberg E., Mil- lenaar R., Miller-Jones J. C. A., Mohan R. N., Mol J. D., Morawietz J., Morganti R., Mulcahy D. D., Mulder E., Munk H., Nieuwenhuis L., van Nieuwpoort R., Noor- dam J. E., Norden M., Noutsos A., Offringa A. R., Olofs- son H., Omar A., Orrú E., Overeem R., Paas H., Pandey- Pommier M., Pandey V. N., Pizzo R., Polatidis A., Raffër- ty D., Rawlings S., Reich W., de Reijer J.-P., Reitsma J., Renting G. A., Riemersv P., Rol E., Romein J. W., Roos- jen J., Ruiter M., Scaife A., van der Schaaf K., Scheers B., Schellartv P., Schoenmakers A., Schoonderbeek G., Sery- lak M., Shulevski A., Sluman J., Smirnov O., Sobey C., Spreeuw H., Steinmetz M., Sterks C. G. M., Stiepel H.-J., Stuurwold K., Tagger M., Tang Y., Tasse C., Thomas I., Thoudam S., Toribio M. C., van der Tol B., Usov O., van Veelen M., van der Veen A.-J., ter Veen S., Verbiest J. P. W., Vermeulen R., Vermaas N., Vocks C., Vogt C., de Vos M., van der Wal E., van Weeren R., Weggemans H., Weltevre- de P., White S., Wijnholds S. J., Wilhelmsson T., Wucknitz O., Yatawatta S., Zarka P., Zensus A., and van Zwielen J. LOFAR: the low-frequency array. *Astron. Astrophys.* 2013. Vol. 556. id. A2. DOI:10.1051/0004-6361/201220873
  7. Ellingson S. W., Taylor G. B., Craig J., Hartman J., Do- well J., Wolfe C. N., Clarke T. E., Hicks B. C., Kassim N. E., Ray P. S., Rickard L. J., Schinzel F. K., and Weiler K. W. The LWA1 Radio Telescope. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 2013. Vol. 61, No. 5. P. 2540–2549. DOI: 10.1109/TAP.2013.2242826
  8. Коноваленко А. А., Ерин С. Н., Бубнов И. Н., Токар- ский П. Л., Захаренко В. В., Ульянов О. М., Сидор- чук М. А., Степкин С. В., Гридин А. А., Квасов Г. В., Колядин В. Л., Мельник В. Н., Доровский В. В., Кали- ниченко Н. Н., Литвиненко Г. В., Зарка Ф., Дени Л., Жирар Ж., Рукер Х. О., Панченко М., Станислав- ский А. А., Христенко А. Д., Муха Д. В., Резниченко А. М., Лисаченко В. М., Борцов В. В., Браженко А. И., Ва- сильева Я. Ю., Скорик А. А., Шевцова А. И., Милост- ная К. Ю. Астрофизические исследования с помощью малоразмерных низкочастотных радиотелескопов ново- го поколения. *Радиофізика і радіоастрономія.* 2016. Т. 21, № 2. С. 83–131. DOI: 10.15407/rpra21.02.083
  9. Hewish A., Bell S. J., Pilkington J. D. H., Scott P. F., and Collins R. A. Observation of a rapidly pulsating radio source. *Nature.* 1968. Vol. 217, No. 5130. P. 709–713. DOI: 10.1038/217709a0
  10. Ульянов О. М., Дешпанде А., Захаренко В. В., Асге- кар А., Шанкар У. Двухчастотные наблюдения шести пульсаров с использованием УТР-2 и GEETEE радио- телескопов. *Радиофізика і радіоастрономія.* 2007. Т. 12, № 1. С. 5–20.
  11. Tokarsky P. L., Konovalenko A. A., Falkovich I. S., and Yerin S. N. SNR in Active receiving Antenna Used as an Element of Phased Antenna Array for GURT Radio Telescope. *Proceedings of the 45th European Microwave Con- ference EuMC 2015.* (September 7–10, 2015. Paris), Paris, France, 2015. P. 1594–1597. DOI: 10.1109/EuRAD.2015.7346365
  12. Токарский П. Л., Коноваленко А. А., Ерин С. Н. Ана- лиз параметров активной фазированной антенной решетки радиотелескопа ГУРТ. *Радиофізика і радіо- астрономія.* 2015. Т. 20, № 2. С. 142–153. DOI: 10.15407/rpra20.02.142
  13. Токарский П. Л., Коноваленко А. А., Ерин С. Н., Буб- нов И. Н. Чувствительность элемента активной ФАР радиотелескопа ГУРТ. *Радиофізика і радіоастрономія.* 2016. Т. 21, № 1. С. 48–57. DOI: 10.15407/rpra21.01.048
  14. Токарский П. Л., Коноваленко А. А., Ерин С. Н., Буб- нов И. Н. Шумовая температура активной фазиро- ванной антенной решетки радиотелескопа ГУРТ. *Радио- фізика і радіоастрономія.* 2018. Т. 23, № 1. С. 43–59. DOI: 10.15407/rpra23.01.043
  15. Tokarsky P. L., Konovalenko A. A., and Yerin S. N. Sensi- tivity of an Active Antenna Array Element for the Low- Frequency Radio Telescope GURT. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 2017. Vol. 65, No. 9. P. 4636–4644. DOI: 10.1109/ TAP.2017.2730238
  16. Ulyanov O. M., Skoryk A. O., Shevtsova A. I., Pla- khov M. S., and Ulyanova O. O. Detection of the fine

- structure of the pulsar J0953+0755 radio emission in the decametre wave range. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2015. Vol. 455, Is. 1. P. 150–157. DOI: 10.1093/mnras/stv2172
17. Скорик А. А., Ульянов О. М., Захаренко В. В., Шевцова А. И., Васильева Я. Ю., Плахов М. С., Кравцов И. П. Тонкая структура аномально интенсивных импульсов пульсара J0814+7429 в декаметровом диапазоне. *Радиофізика і радіоастрономія*. 2017. Т. 22, № 2. С. 93–111. DOI: 10.15407/rpra22.02.093
  18. Zakharenko V., Yerin S., Bubnov I., Vasilieva I., and Kravtsov I. Using of pulsar spectra catalogue at frequencies below 80 MHz for astronomical calibration of phased antenna arrays. *Proceedings of the conference "2016 II International IEEE Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF)"*. (October 2016, Kharkiv). Kharkiv, Ukraine. 2016. P. 210–213. DOI: 10.1109/YSF.2016.7753839
  19. Braude S. Ya., Rashkovsky S. L., Sidorchuk K. M., Sidorchuk M. A., Sokolov K. P., Sharykin N. K., and Zakharenko S. M. Decametric survey of discrete sources in the northern sky. *Astrophys. Space Sci.* 2002. Vol. 280, Is. 3. P. 235–300. DOI: 10.1023/A:1015534108849
  20. Ryabov V. B., Vavriv D. M., Zarka P., Ryabov B. P., Kozhin R., 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. id. A16. DOI: 10.1051/0004-6361/200913335
  21. Васильев А. Ю., Кузин А. И., Кравцов А. А., Булах Е. В., Виноградов В. В., Ваврив Д. М. Многофункциональный цифровой приемник-спектрограф. *Радиофізика і радіоастрономія*. 2014. Т. 19, № 3. С. 276–289. DOI: 10.15407/rpra19.03.276
  22. Vasylieva I. Y., Zakharenko V. V., Zarka P., Ulyanov O. M., Shevtsova A. I., and Seredkina A. A. Data Processing Pipeline for Decameter Pulsar/Transient Survey. *Odessa Astronomical Publications*. 2013. Vol. 26, No. 2. P. 159–161.
  23. Vasylieva I. Y. (2015). *Pulsars and transients survey, and exoplanet search at low-frequencies with the UTR-2 radio telescope: methods and first results*. Phd thesis ed. Observatoire de Paris. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01246634> (дата обращения: 29.06.2018)
  24. Stovall K., Ray P. S., Blythe J., Dowell J., Eftekhari T., Garcia A., Lazio T. J. W., McCrackan M., Schinzel, F. K. and Taylor G. B. Pulsar Observations Using the First Station of the Long Wavelength Array and the LWA Pulsar Data Archive. *Astrophys. J.* 2015. Vol. 808, No. 2. P. 156–175. DOI: 10.1088/0004-637X/808/2/156
  25. Izvekova V. A., Kuzmin A. D., Malofeev V. M., and Shitov Yu. P. Radio spectra of pulsars. I. Observations of flux densities at meter wavelengths and analysis of the spectra. *Astrophys. Space Sci.* 1981. Vol. 78, Is. 1. P. 45–72. DOI: 10.1007/BF00654022
  2. ULYANOV, O. M., ZAKHARENKO, V. V., KONOVALENKO, A. A., LECACHEUX, A., ROSOLEN, C. and RUCKER, H. O., 2006. Detection of individual pulses from pulsars B0809+74; B0834+06; B0943+10; B0950+08 and B1133+16 in the decameter wavelengths. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 11, is. 2, pp. 113–133 (in Russian).
  3. ZAKHARENKO, V. V., VASYLIEVA, I. Y., KONOVALENKO, A. A., ULYANOV, O. M., SERYLAK, M., ZARCA, P., GRIEBMEIER, J.-M., COGNARD, I. and NIKOLAENKO, V. S., 2013. Detection of decametre-wavelength pulsed radio emission of 40 known pulsars. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 431, is. 4, pp. 3624–3641. DOI: 10.1093/mnras/stt470
  4. KONOVALENKO, A., SODIN, L., ZAKHARENKO, V., ZARKA, P., ULYANOV, O., SIDORCHUK, M., STEP-KIN, S., TOKARSKY, P., MELNIK, V., KALINICHENKO, N., STANISLAVSKY, A., KOLIADIN, V., SHEPELEV, V., DOROVSKYY, V., RYABOV, V., KOVAL, A., BUBNOV, I., YERIN, S., GRIDIN, A., KULISHENKO, V., REZNICHENKO, A., BORTSOV, V., LISACHENKO, V., REZNIK, A., KVASOV, G., MUKHA, D., LITVINENKO, G., KRISTENKO, A., SHEVCHENKO, V. V., SHEVCHENKO, V. A., BELOV, A., RUDAVIN, E., VASYLIEVA, I., MIROSHNICHENKO, A., VASILENKO, N., OLYAK, M., MYLOSTNA, K., SKORYK, A., SHEVTSOVA, A., PLAKHOV, M., KRAVTSOV, I., VOLVACH, Y., LYTVINENKO, O., SHEVCHUK, N., ZHOUK, I., BOVKUN, V., ANTONOV, A., VAVRIV, D., VINOGRADOV, V., KOZHIN, R., KRAVTSOV, A., BULAKH, E., KUZIN, A., VASILYEV, A., BRAZHENKO, A., VASHCHISHIN, R., PYLAEV, O., KOSHOVYY, V., LOZINSKY, A., IVANTYSHIN, O., RUCKER, H. O., PANCHENKO, M., FISCHER, G., LECACHEUX, A., DENIS, L., COFFRE, A., GRIEBMEIER, J.-M., TAGGER, M., GIRARD, J., CHARRIER, D., BRIAND, C. and MANN, G., 2016. The modern radio astronomy network in Ukraine: UTR-2, URAN and GURT. *Exp. Astron.* vol. 42, is. 1, pp. 11–48. DOI: 10.1007/s10686-016-9498-x
  5. ZAKHARENKO, V., KONOVALENKO, A., ZARKA, P., ULYANOV, O., SIDORCHUK, M., STEP-KIN, S., KOLIADIN, V., KALINICHENKO, N., STANISLAVSKY, A., DOROVSKYY, V., SHEPELEV, V., BUBNOV, I., YERIN, S., MELNIK, V., KOVAL, A., SHEVCHUK, N., VASYLIEVA, I., MYLOSTNA, K., SHEVTSOVA, A., SKORYK, A., KRAVTSOV, I., VOLVACH, Y., PLAKHOV, M., VASILENKO, N., VASYLKIVSKYI, Y., VAVRIV, D., VINOGRADOV, V., KOZHIN, R., KRAVTSOV, A., BULAKH, E., KUZIN, A., VASILYEV, A., RYABOV, V., REZNICHENKO, A., BORTSOV, V., LISACHENKO, V., KVASOV, G., MUKHA, D., LITVINENKO, G., BRAZHENKO, A., VASHCHISHIN, R., PYLAEV, O., KOSHOVYY, V., LOZINSKY, A., IVANTYSHYN, O., RUCKER, H. O., PANCHENKO, M., FISCHER, G., LECACHEUX, A., DENIS, L., COFFRE, A. and GRIEBMEIER, J.-M., 2016. Digital Receivers for Low-Frequency Radio Telescopes UTR-2, URAN, GURT. *J. Astron. Instrum.* vol. 5, is. 4, id. 1641010. DOI: 10.1142/S2251171716410105
  6. VAN HAARLEM, M. P., WISE, M. W., GUNST, A. W., HEALD, G., MCKEAN, J. P., HESSELS, J. W. T.,

## REFERENCES

1. UL'YANOV, O. M., ZAKHARENKO, V. V. and BRUK, Y. M., 2008. The parameters of pulsar subpulse emission at decameter wavelengths. *Astron. rep.* vol. 52, is. 11, pp. 917–924. DOI: 10.1134/S1063772908110061



- DE BRUYN, A. G., NIJBOER, R., SWINBANK, J., FALLOWS, R., BRENTJENS, M., NELLES, A., BECK, R., FALCKE, H., FENDER, R., HÖRANDEL, J., KOOPMANS, L. V. E., MANN, G., MILEY, G., RÖTTGERING, H., STAPPERS, B. W., WIJERS, R. A. M. J., ZAROUBI, S., VAN DEN AKKER, M., ALEXOV, A., ANDERSON, J., ANDERSON, K., VAN ARDENNE, A., ARTS, M., ASGEKAR, A., AVRUCH, I. M., BATEJAT, F., BÄHREN, L., BELL, M. E., BELL, M. R., VAN BEMMEL, I., BENNEMA, P., BENTUM, M. J., BERNARDI, G., BEST, P., BÎRZAN, L., BONAFEDE, A., BOONSTRA, A.-J., BRAUN, R., BREGMAN, J., BREITLING, F., VAN DE BRINK, R. H., BRODERICK, J., BROEKEMA, P. C., BROUW, W. N., BRÜGGEN, M., BUTCHER, H. R., VAN CAPPELLEN, W., CIARDI, B., COENEN, T., CONWAY, J., COOLEN, A., CORSTANJE, A., DAMSTRA, S., DAVIES, O., DELLER, A. T., DETTMAR, R.-J., VAN DIEPEN, G., DIJKSTRA, K., DONKER, P., DOORDUIN, A., DROMER, J., DROST, M., VAN DUIN, A., EISLÖFFEL, J., VAN ENST, J., FERRARI, C., FRIESWIJK, W., GANKEMA, H., GARRETT, M. A., DE GASPERIN, F., GERBERS, M., DE GEUS, E., GRIEBMEIER, J.-M., GRIT, T., GRUPPEN, P., HAMAKER, J. P., HASSALL, T., HOEFT, M., HOLTIES, H. A., HORNEFFER, A., VAN DER HORST, A., VAN HOUWELINGEN, A., HUIJGEN, A., IACOBELLI, M., INTEMA, H., JACKSON, N., JELIC, V., DE JONG, A., JUETTE, E., KANT, D., KARASTERGIOU, A., KOERS, A., KOLLEN, H., KONDRATIEV, V. I., KOOISTRA, E., KOOPMAN, Y., KOSTER, A., KUNIYOSHI, M., KRAMER, M., KUPER, G., LAMBROPOULOS, P., LAW, C., VAN LEEUWEN, J., LEMAITRE, J., LOOSE, M., MAAT, P., MACARIO, G., MARKOFF, S., MASTERS, J., MCFADDEN, R. A., MCKAY-BUKOWSKI, D., MEIJERING, H., MEULMAN, H., MEVIUS, M., MIDDELBERG, E., MILLENAAR, R., MILLER-JONES, J. C. A., MOHAN, R. N., MOL, J. D., MORAWIETZ, J., MORGANTI, R., MULCAHY, D. D., MULDER, E., MUNK, H., NIEUWENHUIS, L., VAN NIEUWPOORT, R., NOORDAM, J. E., NORDEN, M., NOUTSOS, A., OFFRINGA, A. R., OLOFSSON, H., OMAR, A., ORRÚ, E., OVEREEM, R., PAAS, H., PANDEY-POMMIER, M., PANDEY, V. N., PIZZO, R., POLATIDIS, A., RAFFERTY, D., RAWLINGS, S., REICH, W., DE REIJER, J.-P., REITSMA, J., RENTING, G. A., RIEMERSV, P., ROL, E., ROMAIN, J. W., ROOSJEN, J., RUITER, M., SCAIFE, A., VAN DER SCHAAF, K., SCHEERS, B., SCHELLARTV, P., SCHOENMAKERS, A., SCHOONDERBEEK, G., SERYLAK, M., SHULEVSKI, A., SLUMAN, J., SMIRNOV, O., SOBEY, C., SPREEUW, H., STEINMETZ, M., STERKS, C. G. M., STIEPEL, H.-J., STUURWOLD, K., TAGGER, M., TANG, Y., TASSE, C., THOMAS, I., THOUDAM, S., TORIBIO, M. C., VAN DER TOL, B., USOV, O., VAN VEELLEN, M., VAN DER VEEN, A.-J., TER VEEN, S., VERBIEST, J. P. W., VERMEULEN, R., VERMAAS, N., VOCKS, C., VOGT, C., DE VOS, M., VAN DER WAL, E., VAN WEEREN, R., WEGGEMANS, H., WELTEVREDE, P., WHITE, S., WIJNHOLDS, S. J., WILHELMSSON, T., WUCKNITZ, O., YATAWATTA, S., ZARKA, P., ZENSUS, A. and VAN ZWIETEN, J., 2013. LOFAR: the low-frequency array. *Astron. Astrophys.* vol. 556, id. A2. DOI:10.1051/0004-6361/201220873
7. ELLINGSON, S. W., TAYLOR, G. B., CRAIG, J., HARTMAN, J., DOWELL, J., WOLFE, C. N., CLARKE, T. E., HICKS, B. C., KASSIM, N. E., RAY, P. S., RICKARD, L. J., SCHINZEL, F. K. and WEILER, K. W., 2013. The LWA1 Radio Telescope. *IEEE Trans. Antennas Propag.* vol. 61, no. 5, pp. 2540–2549. DOI: 10.1109/TAP.2013.2242826
  8. KONOVALENKO, A. A., YERIN, S. M., BUBNOV, I. N., TOKARSKY, P. L., ZAKHARENKO, V. V., ULYANOV, O. M., SIDORCHUK, M. A., STEPIN, S. V., GRIDIN, A. O., KVASOV, G. V., KOLIADIN, V. L., MELNIK, V. M., DOROVSKYY, V. V., KALINICHENKO, M. M., LITVINENKO, G. V., ZARKA, P., DENIS, L., GIRARD, J., RUCKER, H. O., PANCHENKO, M., STANISLAVSKY, A. A., KRISTENKO, A. D., MUKHA, D. V., REZNICHENKO, O. M., LISACHENKO, V. N., BORTSOV, V. V., BRAZHENKO, A. I., VASYLIEVA, I. Y., SKORYK, A. O., SHEVTSOVA, A. I. and MYLOSTNA, K. Y., 2016. Astrophysical studies with small low-frequency radio telescopes of new generation. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 21, no. 2, pp. 83–131 (in Russian). DOI: 10.15407/rpra21.02.083
  9. HEWISH, A., BELL, S. J., PILKINGTON, J. D. H., SCOTT, P. F. and COLLINS, R. A., 1968. Observation of a rapidly pulsating radio source. *Nature*. vol. 217, no. 5130, pp. 709–713. DOI: 10.1038/217709a0
  10. ULYANOV, O. M., DESHPANDE, A., ZAKHARENKO, V. V., ASGEKAR, A. and SHANKAR, U., 2007. Two-Frequency Observations of Six Pulsars Using UTR-2 and GEETEE Radio Telescopes. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 12, is. 1, pp. 5–20 (in Russian).
  11. TOKARSKY, P. L., KONOVALENKO, A. A., FALKOVICH, I. S. and YERIN, S. N., 2015. SNR in Active receiving Antenna Used as an Element of Phased Antenna Array for GURT Radio Telescope. In: *Proceedings of the 45th European Microwave Conference (EuMC 2015)*. Paris, France, September 7–10, 2015. pp. 1594–1597. DOI: 10.1109/EuRAD.2015.7346365
  12. TOKARSKY, P. L., KONOVALENKO, A. A. and YERIN, S. N., 2015. Analysis of Active Phased Antenna Array Parameters for the GURT Radio Telescope. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 20, no. 2, pp. 142–153 (in Russian). DOI: 10.15407/rpra20.02.142
  13. TOKARSKY, P. L., KONOVALENKO, A. A., YERIN, S. N. and BUBNOV, I. N., 2016. Sensitivity of Active Phased Antenna Array Element of GURT Radio Telescope. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 21, no. 1, pp. 48–57 (in Russian). DOI: 10.15407/rpra21.01.048
  14. TOKARSKY, P. L., KONOVALENKO, A. A., YERIN, S. N. and BUBNOV, I. N., 2018. Noise Temperature of the Active Phased Array of the GURT Radio Telescope. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 23, no. 1, pp. 43–59 (in Russian). DOI: 10.15407/rpra23.01.043
  15. TOKARSKY, P. L., KONOVALENKO, A. A. and YERIN, S. N., 2017. Sensitivity of an Active Antenna Array Element for the Low-Frequency Radio Telescope

- GURT. *IEEE Trans. Antennas Propag.* vol. 65, no. 9, pp. 4636–4644. DOI: 10.1109/TAP.2017.2730238
16. ULYANOV, O. M., SKORYK, A. O., SHEVTSOVA, A. I., PLAKHOV, M. S. and ULYANOVA, O. O., 2015. Detection of the fine structure of the pulsar J0953+0755 radio emission in the decametre wave range. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 455, is. 1, pp.150–157. DOI: 10.1093/mnras/stv2172
  17. SKORYK, A. O., ULYANOV, O. M., ZAKHARENKO, V. V., SHEVTSOVA, A. I., VASYLIEVA, I. Y., PLAKHOV, M. S. and KRAVTSOV, I. P., 2017. Fine structure of anomalously intense pulses of PSR J0814+7429 radio emission in the decameter range. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 22, no. 2, pp. 93–111 (in Russian). DOI: 10.15407/rpra22.02.093
  18. ZAKHARENKO, V., YERIN, S., BUBNOV, I., VASYLIEVA, I. and KRAVTSOV, I., 2016. Using of pulsar spectra catalogue at frequencies below 80 MHz for astronomical calibration of phased antenna arrays. In: *Proceedings of the conference “2016 II International IEEE Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF)”*. Kharkiv, Ukraine, October 2016. pp. 210–213. DOI: 10.1109/YSF.2016.7753839
  19. BRAUDE, S. YA., RASHKOVSKY, S. L., SIDORCHUK, K. M., SIDORCHUK, M. A., SOKOLOV, K. P., SHARYKIN, N. K. and ZAKHARENKO, S. M., 2002. Decametric survey of discrete sources in the northern sky. *Astrophys. Space Sci.* vol. 280, is. 3, pp. 235–300. DOI: 10.1023/A:1015534108849
  20. RYABOV, V. B., VAVRIV, D. M., ZARKA, P., RYABOV, B. P., KOZHIN, R., VINOGRADOV, V. V. and DENIS, L., 2010. 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.* vol. 510, id. A16. DOI: 10.1051/0004-6361/200913335
  21. VASILYEV, O. Y., KUZIN, A. I., KRAVTSOV, A. A., BULAKH, E. V., VINOGRADOV, V. V. and VAVRIV, D. M., 2014. Multifunctional Digital Receiver-Spectrometer. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 19, no. 3, pp. 276–289 (in Russian). DOI: 10.15407/rpra19.03.276
  22. VASYLIEVA, I. Y., ZAKHARENKO, V. V., ZARKA, P., ULYANOV, O. M., SHEVTSOVA, A. I. and SEREDKINA, A. A., 2013. Data Processing Pipeline for Decameter Pulsar/Transient Survey. *Odessa Astronomical Publications.* vol. 26, no. 2, pp. 159–161.
  23. VASYLIEVA, I. Y., 2015. *Pulsars and transients survey, and exoplanet search at low-frequencies with the UTR-2 radio telescope: methods and first results.* [online]. Phd thesis ed. Observatoire de Paris. [viewed 29 June 2018]. Available from: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01246634>
  24. STOVALL, K., RAY, P. S., BLYTHE, J., DOWELL, J., EFTEKHARI, T., GARCIA, A., LAZIO, T. J. W., MCCRACKAN, M., SCHINZEL, F. K. and TAYLOR, G. B., 2015. Pulsar Observations Using the First Station of the Long Wavelength Array and the LWA Pulsar Data Archive. *Astrophys. J.* vol. 808, no. 2, pp. 156–175. DOI: 10.1088/0004-637X/808/2/156
  25. IZVEKOVA, V. A., KUZMIN, A. D., MALOFEEV, V. M. and SHITOV, YU. P., 1981. Radio spectra of pulsars. I. Observations of flux densities at meter wavelengths and analysis of the spectra. *Astrophys. Space Sci.* vol. 78, is. 1, pp. 45–72. DOI: 10.1007/BF00654022
- V. V. Zakharenko<sup>1</sup>, O. O. Konovalenko<sup>1</sup>, S. M. Yerin<sup>1</sup>, I. M. Bubnov<sup>1</sup>, I. Y. Vasylieva<sup>1</sup>, O. M. Ulyanov<sup>1</sup>, and V. Y. Yatsyna<sup>2</sup>*
- <sup>1</sup> Institute of Radio Astronomy,  
National Academy of Sciences of Ukraine,  
4, Mystetstv St., Kharkiv, 61002, Ukraine
- <sup>2</sup> V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4, Svoboda Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

#### STUDIES OF PULSAR RADIO EMISSION WITH THE GURT RADIO TELESCOPE SUBARRAY

*Purpose:* Finding the possibility of pulsar radio emission studies in the meter wavelength range with a small-sized subarray of the low-frequency GURT radio telescope of new generation. Development of the joint pulsar radio emission observations technique for the meter and decameter wavelength ranges at the GURT and UTR-2 radio telescopes, respectively, for studying the radio emission properties in a wide frequency range.

*Design/methodology/approach:* The unique location of the two radio telescopes with overlapping frequency ranges at the same observatory area, and therefore under the conditions of the same propagation medium influence on the pulsar radio emission propagation recorded with these radio telescopes allows to determine the radiation flux spectra of these sources within a wide frequency range. The pulsar pulses averaged over 2–4 h are studied here. The UTR-2 structure flexibility and simultaneous using of several radio astronomy receivers allow analyzing the signals received with the whole radio telescope in the typical additive mode and with its separate subarrays, too. Simultaneous signal recording in these configurations allows controlling the influence of ionosphere on the signal propagation within the UTR-2 frequency range.

*Findings:* With the GURT radio telescope subarray consisting of 25 active antenna elements the emission of 16 known pulsars within the 30–70 MHz range was detected. Jointly with the UTR-2 two sessions of simultaneous wideband observations of pulsar radio emission were made within the 16.5–70 MHz range. In the range of 16.5–70 MHz, the average values of flux density and dispersion measures, as well as variations of these parameters for pulsars B1133+16, B1508+55 and B1919+21 were obtained.

*Conclusions:* The studies made confirm the possibility of effective usage of the separate GURT radio telescope subarrays for radio astronomy observations, and in particular for pulsar radio emission studies. Long-term observations of pulsars in a wide frequency range allow obtaining the average values of pulsar radio emission flux densities, their spectral indices and the pulsar dispersion measures, as well as the variations of these values.

*Key words:* flux, pulsed pulsar emission, decameter and meter wavelengths, radio telescope

В. В. Захаренко<sup>1</sup>, О. О. Коноваленко<sup>1</sup>, С. М. Єрін<sup>1</sup>,  
І. М. Бубнов<sup>1</sup>, Я. Ю. Васильєва<sup>1</sup>, О. М. Ульянов<sup>1</sup>,  
В. Ю. Яцина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Радіоастрономічний інститут НАН України,  
вул. Мистецтв, 4, м. Харків, 61002, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет  
імені В. Н. Каразіна,  
м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ ПУЛЬСАРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕКЦІЇ РАДІОТЕЛЕСКОПУ ГУРТ

*Предмет і мета роботи:* Визначення можливості дослідження радіовипромінювання пульсарів у метровому діапазоні хвиль за допомогою малорозмірної субрешітки низькочастотного радіотелескопу нового покоління ГУРТ. Розробка методики спільних спостережень радіовипромінювання пульсарів у метровому та декаметровому діапазонах довжин хвиль відповідно на радіотелескопах ГУРТ та УТР-2 для визначення характеристик радіовипромінювання у широкій смузі частот.

*Методи і методологія:* Унікальне розташування двох радіотелескопів з діапазонами частот, що перекриваються, на території однієї обсерваторії, а отже в умовах, коли середовище поширення однаково впливає на проходження імпульсного радіовипромінювання пульсарів, що реєструється цими телескопами, дає можливість визначити спектр потоку випромінювання цих джерел у широкій смузі частот.

Досліджено усереднені за  $2 \div 4$  г імпульси пульсарів. Гнучкість структури радіотелескопу УТР-2 та наявність декількох радіоастрономічних приймачів дозволяє аналізувати сигнали, прийняті як усім телескопом у стандартному адитивному режимі, так і окремими його секціями. Одночасний запис сигналів у цих конфігураціях дозволяє контролювати вплив іоносфери на поширення сигналу у частотному діапазоні УТР-2.

*Результати:* На субрешітці радіотелескопу ГУРТ, що складається з 25 активних антенних елементів, виявлено випромінювання 16 відомих пульсарів у діапазоні частот  $30 \div 70$  МГц. Спільно з радіотелескопом УТР-2 проведено дві сесії одночасних широкосмугових спостережень радіовипромінювання пульсарів у діапазоні  $16.5 \div 70$  МГц. У діапазоні частот  $16.5 \div 70$  МГц, отримано середні значення та варіації щільності потоку, та міри дисперсії пульсарів V1133+16, V1508+55 і V1919+21.

*Висновок:* Виконані у роботі дослідження підтверджують можливість ефективного використання окремих секцій радіотелескопу ГУРТ для радіоастрономічних спостережень, зокрема, для дослідження радіовипромінювання пульсарів. Довготривалі спостереження пульсарів у широкому діапазоні частот дозволяють отримати середні значення щільностей потоку випромінювання, спектрального індекса, міри дисперсії пульсарів, а також варіації цих величин.

*Ключові слова:* потік, імпульсне радіовипромінювання пульсарів, декаметровий і метровий діапазони довжин хвиль, радіотелескоп

*Статья поступила в редакцию 12.07.2018*