

УДК 524.354.4; 52-17

**О. М. Ульянов, А. И. Шевцова, В. В. Захаренко,  
А. А. Скорик, Я. Ю. Васильева, М. С. Плахов**

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

### **Временные и поляризационные характеристики радиоизлучения PSR J0242+6256 в декаметровом диапазоне**

*В работе исследуются характеристики аномально интенсивных импульсов пульсара J0242+6256 в декаметровом диапазоне длин волн. Наблюдения проведены с помощью радиотелескопа УТР-2 в октябре 2014 года. В направлении на пульсар уточнена мера дисперсии, впервые определены такие характеристики, как постоянная времени рассеяния, мера рассеяния и мера вращения. Также рассмотрены быстрые изменения меры вращения вдоль профилей индивидуальных аномально интенсивных импульсов. Полученные характеристики показывают, что, несмотря на небольшую меру дисперсии и близкое расположение пульсара относительно Земли, он имеет большую меру рассеяния. Быстрые изменения меры вращения вдоль профилей импульсов этого пульсара возможно обусловлены наличием вблизи пульсара плазмы с быстро изменяющимися параметрами.*

**Ключевые слова:** пульсар, поляризация, мера вращения, мера дисперсии, мера рассеяния.

**PACS:** 97.60.Gb, 98.38.Am

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Обзор пульсаров, который был проведен на радиотелескопе УТР-2 [49], показал, что в декаметровом диапазоне возможно исследовать не менее 40 пульсаров. При этом глубина обзора была ограничена по параметру мера дисперсии  $DM$ :  $DM \leq 30 \text{ пк/см}^3$ . Вместе с этим из работы [37] следует, что предельное значение  $DM$  в этом диапазоне может

быть увеличено примерно вдвое, по крайней мере до  $57 \text{ пк/см}^3$  (т. е. до меры дисперсии пульсара в Крабовидной туманности). Наряду с увеличением числа детектируемых пульсаров в этом диапазоне особый интерес представляет исследование свойств радиоизлучения отдельных пульсаров [3, 4, 11, 12], и даже исследование свойств отдельных импульсов [43].

В этой связи наиболее актуальным в области низких частот представляется исследование радиоизлучения ближайших к Земле пульсаров (PSRs: J0242+6256, J0814+7429 (B0809+74), J0953+0755 (B0950+08), J1136+1551 (B1133+16) см. [1, 8, 26]). Такой выбор позволяет минимизировать влияние рассеяния на пространственных неоднородностях электронной концентрации межзвездной среды. Поскольку все эффекты распространения в низкочастотном диапазоне выражены более контрастно, чем в высокочастотном (здесь и ниже условной частотой разграничения низкочастотного и высокочастотного диапазона мы примем частоту 100 МГц, которая находится вблизи максимума спектральной плотности потока многих пульсаров [22, 24, 25]), для анализа следует выбирать отдельные аномально интенсивные импульсы (Anomalously Intense Pulse — AIP) с высоким значением отношения сигнал/шум ( $S/N$ ). Такие импульсы были зарегистрированы в декаметровом диапазоне [3, 4, 23, 44, 45] и, хотя вероятность их регистрации не превышает 1-2 %, именно их исследование представляет наибольший интерес.

Наблюдения ближайших к Земле пульсаров в декаметровом и метровом диапазонах позволяют зондировать среду распространения их излучения. В ряде случаев [29, 30, 43] на фоне интегральных эффектов распространения удается выделить локальный вклад верхних слоев магнитосферы и/или пульсарного ветра в эти эффекты. Так, в работах [30, 43] сделаны утверждения о возможности регистрации эффекта двулучевого преломления в верхних слоях магнитосферы пульсара. Есть много теоретических работ, относящихся к распространению радиоизлучения внутри магнитосферы пульсара, в которых утверждается, что вероятность наблюдения эффекта двулучевого преломления и связанного с ним эффекта Фарадея в магнитосфере пульсара пренебрежимо мала [28, 31, 36, 46]. При этом авторы данных работ исходят либо из предположения идентичности энергетических распределений электронов и позитронов в магнитосферной плазме [46], либо утверждают, что из-за преобладающего влияния линейной трансформации нормальных поляризационных мод на принимаемое радиоизлучение выделить вклад верхней магнитосферы в интегральной мере вращения почти невозможно [31, 36].

Однако еще до начала зондирования среды распространения, и в частности верхней магнитосферы пульсара, требуется определить основные характеристики радиоизлучения исследуемого пульсара. Также требуется определить характеристики среды распространения, находящейся между пульсаром и наблюдателем. К характеристикам

радиоизлучения пульсара относится спектральная плотность потока его излучения, поляризационные параметры его излучения, наличие АИР, постоянная времени рассеяния и т. п. Основные параметры среды распространения включают меру дисперсии  $DM$ , меру вращения  $RM$ , меру рассеяния  $SM$ , меру эмиссии  $EM$ , постоянную времени рассеяния ( $\tau_{sc}(f)$ ), или обратную к ней величину — полосу декорреляции радиоизлучения  $1.16 / (2 \tau_{sc}(f))$  [2, 14].

Целью данной работы является определение и уточнение параметров среды распространения в направлении на данный пульсар. В направлении на данный пульсар будет уточнена мера дисперсии, впервые определена мера вращения и постоянная времени рассеивания. Мы будем исследовать параметры среды распространения на коротких интервалах, в которые излучаются АИР, подобно тому как это было сделано в работах [2, 43]. Короткие интервалы исследования (до нескольких миллисекунд) позволяют разделить влияние быстро движущейся плазмы и/или плазмы с быстро изменяющимися параметрами (например плазмы пульсарного ветра или межпланетной плазмы) от аналогичного влияния относительно медленных изменений параметров плазмы межзвездной среды или ионосферы Земли на радиоизлучение пульсаров.

#### НАБЛЮДЕНИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ PSR J0242+6256

Впервые пульсар J0242+6256 был обнаружен на частоте 350 МГц в обзоре пульсаров, который проводился в 2007 г. на радиотелескопе GBT во время его модернизации [9, 16, 21]. В данном обзоре были определены координаты пульсара, его период вращения  $P_0 = 0.592$  с и мера дисперсии  $DM = 4$  пк/см<sup>3</sup>. Остальные параметры этого пульсара оставались неизвестными. Далее в обзоре пульсаров, проведенном на радиотелескопе LOFAR были уточнены координаты этого пульсара и значение  $DM$  [13]. Анализ координат показывает, что этот пульсар находится в диске Галактики (см. рис. 1 [17, 39]) на расстоянии 220 пк от Земли [8]. Поскольку он является одним из ближайших к Земле пульсаров, то, вероятно, он находится в нашем рукаве Ориона. Его галактические координаты по данным каталога ATNF [10]  $Gl = 135.19^\circ$ ,  $Gb = 2.75^\circ$ . Из-за такого расположения пульсара следует ожидать, что его радиоизлучение будет рассеиваться сильнее, чем, например, радиоизлучение пульсара J0814+7429, хотя у пульсара J0814+7429 значение  $DM$  даже больше, чем у пульсара J0242+6256.

В декаметровом диапазоне пульсар J0242+6256 ранее наблюдался лишь единожды. Он не вошел в число 40 редетектированных пульсаров, которые наблюдались в декаметровом обзоре [49], так как был зарегистрирован несколько позднее [6]. Наблюдения PSR J0242+6256 были проведены 28 октября 2014 г. на радиотелескопе УТР-2 в диапазоне 8...33 МГц в одноканальном режиме регистрации волновой фор-

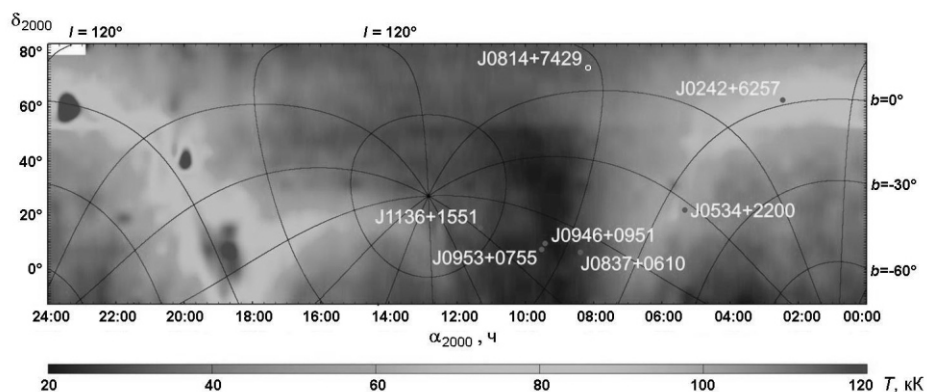


Рис. 1. Расположение ближайших к Земле пульсаров на карте яркостной температуры галактического фона на частоте 20 МГц

мы сигнала (Wave Form mode). Основные параметры радиотелескопа приведены в работах [7, 10, 27, 47, 48]. Регистрация радиоизлучения проводилась приемником DSPZ [38, 47]. Данный пульсар был обнаружен при поиске транзиентов [18], который сейчас ведется на РТ УТР-2.

Наш опыт работы в декаметровом диапазоне подсказывал, что в магнитосфере пульсара J0243+6257 могут излучаться АИР. Такие импульсы ранее были обнаружены у пульсаров в метровом и декаметровом диапазонах [19, 20, 23, 44]. Действительно, у PSR J0242+6256 были обнаружены АИР. Отношение  $S/N$  для таких импульсов в максимуме превышает 10.

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Для зарегистрированных АИР была проведена оценка  $DM$ ,  $RM$  и постоянной времени рассеяния  $\tau_{sc}(f)$ . Динамический спектр и средние профили в субдиапазонах одного из наиболее интенсивных импульсов, зарегистрированных нами во время наблюдений данного пульсара, приведены на рис. 2.

Оценка  $DM$  проводилась постдетекторным методом [15]. Полученное нами значение  $DM = 3.8214 \pm 0.001$  пк/см<sup>3</sup> отличается от приведенного в каталоге ATNF [8, 26].

Ниже приведены уравнения [2, 5, 6, 14, 20, 40, 41], в которые входят основные интегральные и дифференциальные параметры среды распространения:

$$RM = \int_0^D \mathbf{B}(s) n_e(s) ds, \quad (1)$$

$$DM = \int_0^D n_e(s) ds, \quad (2)$$

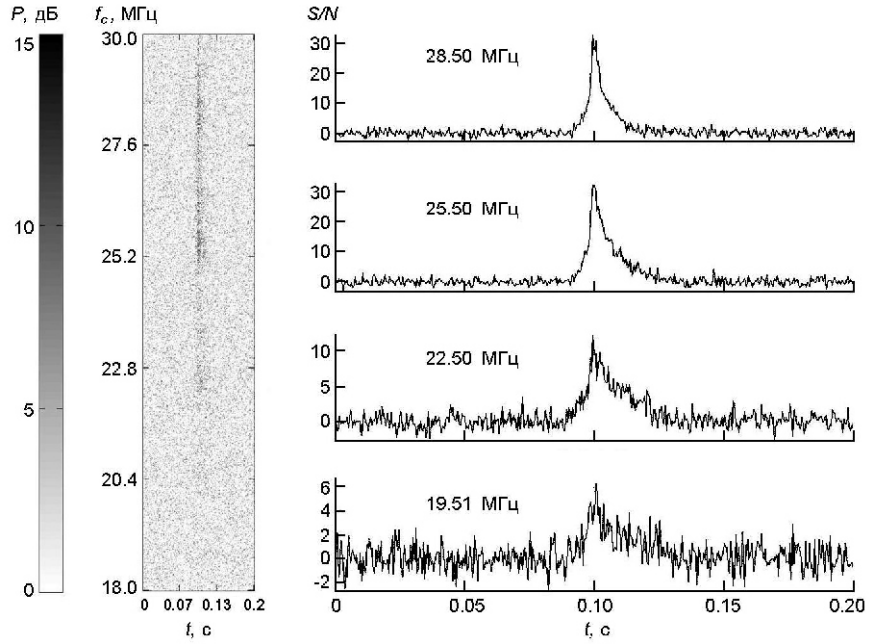


Рис. 2. Динамический спектр PSR J0242+6256 и его профили в различных субполосах динамического спектра. Разрешение по времени  $\Delta t = 0.5$  мс, разрешение по частоте  $\Delta f = 8$  кГц. Наблюдения проведены 28 октября 2014 г. на радиотелескопе УТР-2

$$EM = \int_0^D n_e^2(s) ds, \quad (3)$$

$$SM = \int_0^D C_n^2(s) ds, \quad (4)$$

$$\langle C_{n_K}^2(f_c, s_c) \rangle = 0.002 f_c^{4.4} D^{2.2} (2 s_c(f_c)/1.16)^{1.2}, \quad (5)$$

$$\langle C_{n_N}^2(f_c, s_c) \rangle = 0.002 f_c^4 D^2 (2 s_c(f_c)/1.16), \quad (6)$$

где  $RM$  (рад/м<sup>2</sup>) — мера вращения,  $D$  — расстояние от наблюдателя до источника, измеряемое в пк (уравнения (1)—(3)), или в кпк (уравнения (4)—(6)), было взято для исследуемого пульсара равным 0.22 кпк из каталога ATNF [8]),  $\mathbf{B}(s)$  (Гс) — вектор магнитной индукции на луче зрения,  $\mathbf{s}$  — вектор, касательный к лучу зрения,  $DM$  (пк/см<sup>3</sup>) — мера дисперсии,  $n_e(s)$  (см<sup>-3</sup>) — концентрация электронов на луче зрения,  $SM$  (кпк/м<sup>3</sup>) — мера рассеяния,  $C_n^2(s)$  — коэффициент, характеризующий интенсивность турбулентности вдоль луча зрения (его размерность м<sup>-20/3</sup> для колмогоровского закона распределения пространственных неоднородностей электронной концентрации),  $\langle C_{n_{K,N}}^2(f_c, s_c) \rangle$  — аналогичные предыдущему средние коэффициенты для колмогоровского (индекс  $K$ ) и нормального (индекс  $N$ ) распределений пространственного спектра неоднородностей электронной концентрации,  $f_c$  (ГГц)

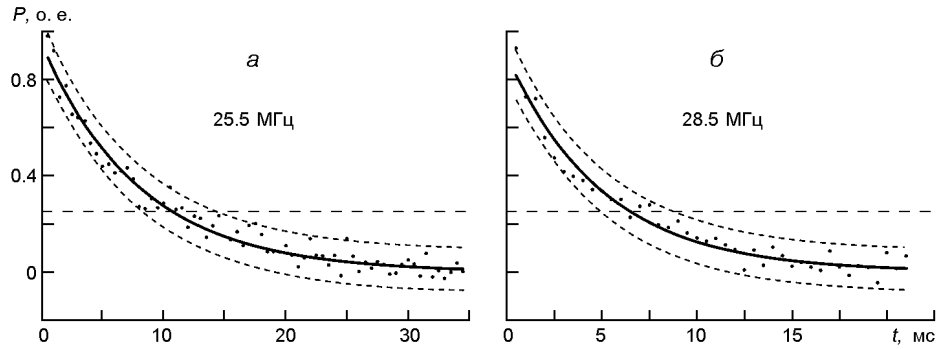


Рис. 3. Аппроксимация наблюдаемого спектра мощности anomalously интенсивного импульса PSR J0242+6256 (точки) модельной зависимостью  $\exp[-t/(f_c)]$  (сплошная кривая) на центральных частотах  $f_c = 25.5$  МГц (а) и  $f_c = 28.5$  МГц (б). Штриховые кривые — границы 3-разброса данных наблюдений, горизонтальная линия — уровень  $0.25P$ , относительно которого оценивается постоянная времени рассеивания. Полоса интегрирования  $F = 3$  МГц. Временное разрешение  $\Delta t = 0.5$  мс

— центральная частота принимаемого диапазона частот,  $ME$  (пк/см<sup>6</sup>)  
 — мера эмиссии.

Из этих уравнений видна связь расчетных и измеряемых величин, характеризующих плазму, магнитное поле и спектр турбулентности на луче зрения. К измеряемым величинам относятся:  $f_c$  — центральная частота наблюдений, постоянная времени рассеивания  $\tau_{sc}(f_c)$  (в мкс) и/или обратная к ней величина  $1.16/(2\tau_{sc}(f_c))$  — полоса декорреляции (в МГц) [23], и спектральный индекс  $\beta = 5$  в области частот, численные значения которого в уравнениях (5) и (6) равны 4.4 и 4 соответственно.

Оценивание постоянной времени рассеивания, насколько нам известно, для данного пульсара ранее не делалось. Мы оценили постоянную времени рассеивания  $\tau_{sc}(f_c)$  в двух субполосах на центральных частотах  $f_c = 25.5$  и  $28.5$  МГц, аппроксимировав «хвост» наиболее мощного АИР экспонентой вида  $\exp[-t/(f_c)]$  (см. рис. 3а, б). Постоянная времени рассеивания оценивалась по критерию минимума средних квадратичных отклонений модельной экспоненты от реального сигнала на временном интервале порядка  $3\tau_{sc}(f_c)$ . Значение постоянной времени рассеивания, полученное нами на частоте 25.5 МГц, составляет  $\tau_{sc}(25.5) = 10.7 \pm 3.5$  мс, на частоте 28.5 МГц оно составляет  $\tau_{sc}(28.5) = 6.5 \pm 2.3$  мс (рис. 3а, б).

Сравнивая значение  $\tau_{sc}(25.5) = 10.7 \pm 3.5$  мс для пульсара J0242+6256 с аналогичным значением  $\tau_{sc}(25.5) = 1 \pm 0.1$  мс для пульсара J0953+0755 [43, 44], можно видеть, что при значениях  $DM$  одного порядка постоянные времени рассеивания различаются на порядок. Это означает, что спектральная плотность мощности  $P_{ne}(q)$  пространственных флуктуаций электронной концентрации плазмы на луче

зрения в направлении PSR J0242+6256 имеет большую интенсивность, чем в направлении на PSR J0953+0755:

$$P_{n_e}(q) = C_n^2 q^{-2/L_H} q^{-2/L_L}, \quad n_e \sim n_e, \quad (7)$$

$$\langle n_e^2 \rangle = \int_{q_L}^{q_H} P_{n_e}(q) dq, \quad q_L = 2/L_H, \quad q_H = 2/L_L, \quad (8)$$

где  $q = 2/L$  — волновое число или пространственная гармоника,  $L$ ,  $L_H$  и  $L_L$  (м) — пространственный, внешний и внутренний масштабы турбулентности,  $P(q)$  (м<sup>-3</sup>) — спектральная плотность пространственных неоднородностей электронной концентрации,  $n_e$  (м<sup>-3</sup>) — пространственные флуктуации электронной концентрации на луче зрения,  $\alpha = 11/3$  — спектральный индекс для колмогоровского пространственного спектра насыщенной турбулентности и  $\alpha = 4$  — аналогичный индекс для нормального пространственного спектра турбулентности,  $2/L_H$  и  $2/L_L$  — соотношение спектральных индексов в области частотного и пространственного спектров турбулентности.

Если проанализировать положение ближайших к Земле пульсаров на карте яркостной температуры галактического фона (рис. 1), то можно видеть, что PSR J0953+0755 расположен в радиотихом районе Галактики, тогда как координаты PSR J0242+6256 проецируются на галактический диск. Фактически проведенные нами оценки и приведенные здесь рассуждения означают, что PSR J0242+6256 расположен в ближайшем по отношению к наблюдателю рукаве Галактики, т. е. в рукаве Ориона. Вероятно, что в этом рукаве интенсивность турбулентности пространственной электронной концентрации существенно выше, чем в радиотихих районах Галактики. Этим и объясняется десятикратное различие в постоянных времени рассеивания у двух наиболее близких к Земле пульсаров.

Оценка постоянных времени рассеяния позволяет в соответствии с уравнениями (4)—(6) оценить интенсивность турбулентности и меру рассеяния на луче зрения в направлении данного пульсара. Сделанные нами оценки меры рассеяния для нормального и колмогоровского закона распределения пространственных неоднородностей электронной концентрации, приведены в таблице.

Для диапазона частот в таблице были оценены частотный спектральный индекс  $\alpha$  и пространственный спектральный индекс  $\beta$ :

$$\frac{\lg(f_L)}{\lg(f_H)} = \frac{\lg(f_H)}{\lg(f_L)}, \quad (9)$$

$$\frac{2}{\alpha}. \quad (10)$$

Мы получили значения  $\alpha = 4.481$ ,  $\beta = 3.612$  ( $\alpha \in [4.302, 4.738]$ ,  $\beta \in [3.461, 3.738]$ ) для спектра постоянной времени рассеяния. Получен-

**Оценки меры рассеяния в направлении на PSR J0242+6256 на различных частотах**

$f_c$ , МГц	$\nu_c$ , мс	$\langle C_{n_N}^2 \rangle$ , $10^{-3}$	$SM_N$ , $10^{-4}$	$\lg(SM_N)$	$\langle C_{n_K}^2 \rangle$ , $10^{-3}$	$SM_K$ , $10^{-4}$	$\lg(SM_K)$
25.5	сред.: 10.7	1.013	2.228	-3.652	2.833	6.232	-3.205
	min: 8.3	0.785	1.728	-3.762	2.089	4.595	-3.338
	max: 14.2	1.344	2.957	-3.529	3.978	8.752	-3.058
28.5	сред.: 4.9	0.959	2.112	-3.675	2.541	5.59	-3.253
	min: 8.8	0.724	1.592	-3.798	1.81	3.982	-3.4
	max: 6.5	1.299	2.859	-3.544	3.655	8.041	-3.095

ные оценки не дают возможности сделать однозначный вывод в пользу нормального или колмогоровского спектра неоднородностей электронной концентрации.

Для близких к Земле пульсаров мера рассеяния для нормального закона распределения пространственных неоднородностей электронной концентрации меньше, чем для колмогоровского закона распределения тех же неоднородностей. Это связано с тем, что в уравнения (5) и (6) для индексов интенсивности пространственной турбулентности доминирующими являются зависимость  $\langle C_{n_N}^2(f, \nu_c) \rangle \sim f^4$  и зависимость  $\langle C_{n_K}^2(f, \nu_c) \rangle \sim f^{4.4}$ . Полученные нами оценки меры рассеяния в близких частотных диапазонах оказались хорошо согласованными. В таблице приведены средние, минимальные и максимальные оценки  $SM$  и  $\lg SM$  в близких диапазонах частот  $f = 25.5$  и  $28.5$  МГц.

Поляризационные параметры радиоизлучения данного пульсара ранее вовсе не были исследованы. До сих пор для него не была известна мера вращения. Для её определения мы использовали методы, рассмотренные в работах [5, 6, 40—42]. На рис. 4а приведен динамический спектр одного из наиболее мощных АИР с выраженной квазипериодической модуляцией интенсивности в зависимости от частоты. Наличие такой модуляции указывает, что зарегистрированное излучение содержит линейно поляризованную составляющую. Такая модуляция является наблюдательным проявлением эффекта Фарадея (вращения плоскости линейной поляризации при распространении излучения в слабоанизотропной среде) при регистрации радиоизлучения с помощью соосных линейных диполей. Коэффициент эллиптичности и степень линейной поляризации такого радиоизлучения можно определить по методике, изложенной в работах [5, 40, 42]. На рис. 4б для сравнения приведен динамический спектр АИР из этой же сессии наблюдений, где почти не просматриваются полосы модуляции. Соответственно и определить частоту фарадеевской модуляции мы адекватно не можем. Причиной, по которой мы не видим модуляции, может быть сильное рассеяние и связанная с ним депо-



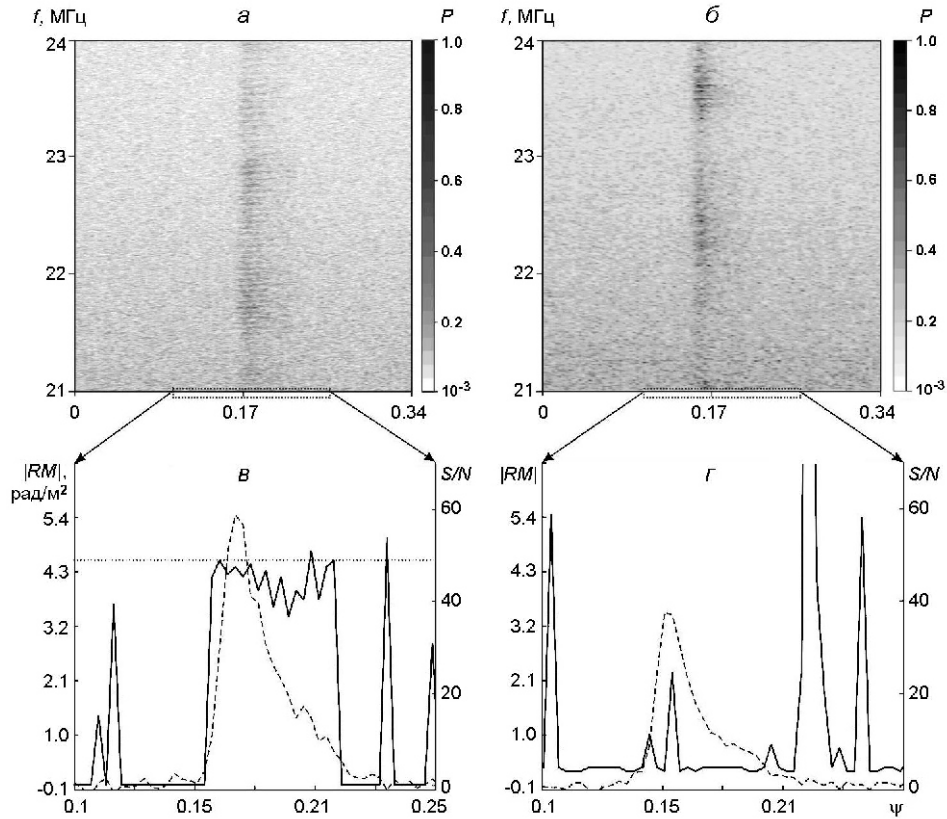


Рис. 4. Зарегистрированные anomalно интенсивные импульсы и характеристики пульсара J0242+6256: *a*, *б* — динамические спектры двух импульсов из одной сессии наблюдений на центральной частоте  $f_c = 22.5$  МГц в координатах «фаза вращения  $t/P$  — частота  $f$  — мощность  $P$ ». Временное разрешение  $\Delta t = 1.986$  мс, частотное разрешение:  $f = 2.014$  кГц (*a*) и  $f = 4.028$  кГц (*б*); *в*, *г* — оценки  $|RM|$  (сплошная кривая, шкала слева) вдоль профиля индивидуальных импульсов для выделенного узкого интервала фаз импульса  $0.1 < t/P < 0.25$  и средний профиль индивидуального импульса в полосе частот в единицах  $S/N$  (штриховая кривая, шкала справа)

ляризация радиоизлучения. Также на рис. 4б разрешение динамического спектра по частоте вдвое меньше, чем на рис. 4а. Частотное разрешение является важным параметром при анализе спектров, его нужно подбирать для каждого пульсара для получения наиболее высокого отношения  $S/N$  в области исследования поляризационных параметров радиоизлучения.

Поскольку исходные данные для этого пульсара были зарегистрированы в режиме Wave Form (регистрировался один линейный поляризационный отклик), мы не могли использовать когерентную методику оценки  $RM$  [30]. Мы смогли определить только абсолютное значение  $RM$ . Дальнейшие исследования данного пульсара с использованием двух поляризаций и волновой регистрации принятого сигнала в двух ортогональных поляризациях позволят определить и знак  $RM$ .

Регистрация эффекта Фарадея позволяет оценить модуль  $RM$  [5, 6,

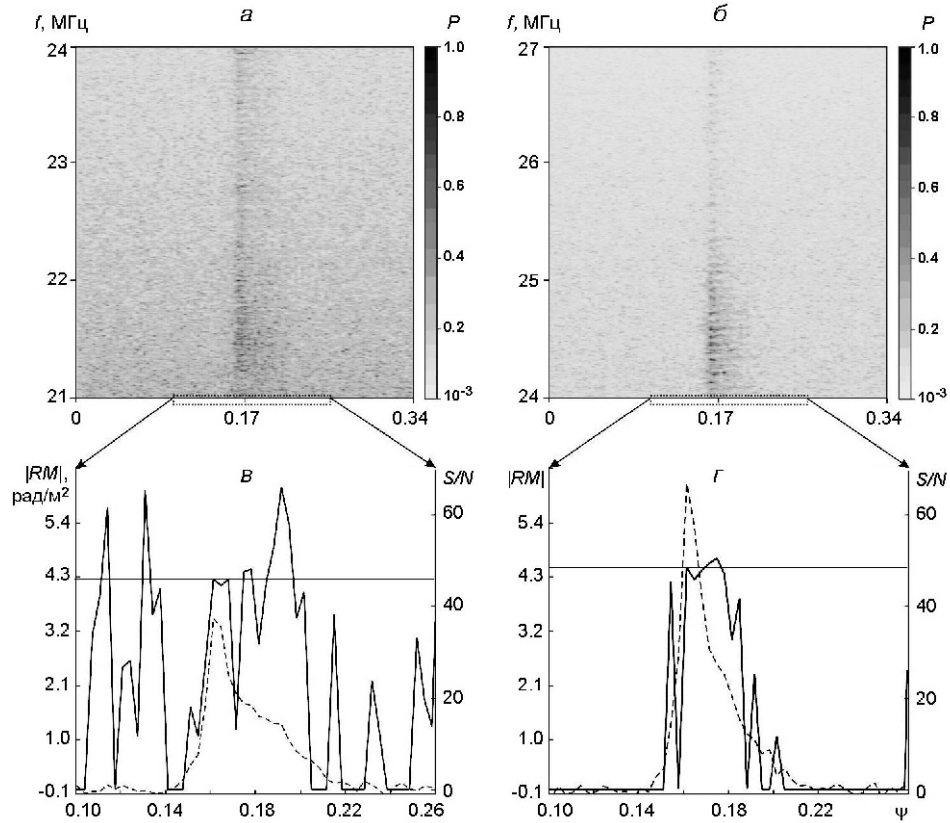


Рис. 5. То же для одного импульса в соседних диапазонах  $f_c = 22.5$  и  $25.5$  МГц (а и б соответственно). Частотное разрешение  $\Delta f = 2.014$  кГц

40—42], если определить период модуляции интенсивности  $f_F$  в относительно узкой спектральной области как

$$RM \approx \frac{f_c^2 (f_c - f_F)^2}{c^2 (f_c + f_F)^2 f_c^2} \approx \frac{f_c^3}{c^2 2 f_F}, \quad (11)$$

где  $c$  — скорость света,  $f_c$  — центральная частота анализируемого диапазона,  $f_F$  — период фарадеевской модуляции, определенный в спектральной области.

Мы выбрали семь anomalно интенсивных импульсов, для которых была зафиксирована фарадеевская модуляция интенсивности. Динамические спектры этих АИР разбивались на четыре субполосы по 3 МГц каждая (см. рис. 2). В каждой такой субполосе, где отношение  $S/N$  для линейно поляризованной составляющей сигнала превышало 10, оценивалось значение  $|RM|$ . Субполос, отвечающих заданному критерию, осталось 15. Т. е., мы получили 15 оценок модулей  $RM$  в максимуме профилей АИР в близких частотных диапазонах. Далее мы усреднили полученные оценки и вычислили среднее значение  $|RM|$  и значение среднего квадратичного отклонения:

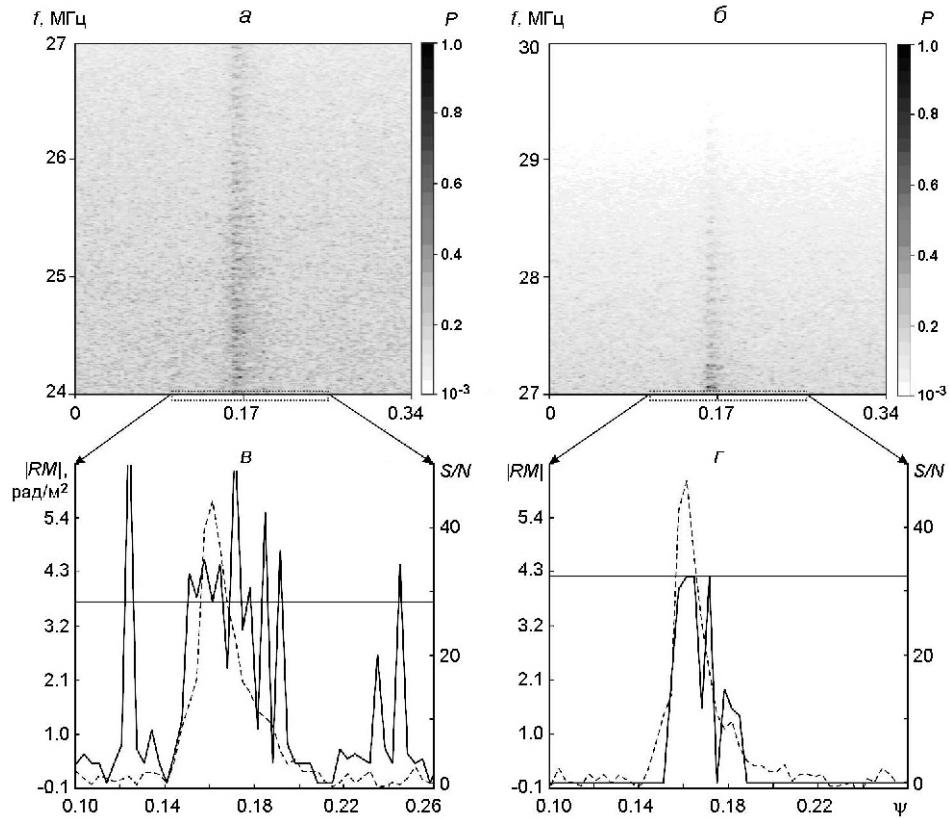


Рис. 6. То же для одного импульса в соседних диапазонах с  $f_c = 25.5$  и  $28.5$  МГц ( $a$  и  $б$  соответственно). Частотное разрешение  $\Delta f = 2.014$  кГц

$$\langle |RM| \rangle \quad (|RM|) = 4.353 \quad 0.289 \text{ рад/м}^2.$$

Пока в литературе и каталогах не встречались другие оценки  $RM$  для этого пульсара. Методологические ошибки определения модуля  $RM$  для данного пульсара не превышали  $0.001 \text{ рад/м}^2$  (0.01 %).

Точную оценку модуля  $RM$  можно получать без восстановления всех параметров Стокса. Это возможно потому, что скорость изменения позиционного угла для поляризационного эллипса в зависимости от частоты (длины волны) одинакова как в плоскости фронта волны, так и для проекции этого эллипса на горизонтальную плоскость, в которой расположены диполи радиотелескопа.

На рисунках  $5a, б, 6a, б$  представлены динамические спектры AIP, полученные с полосами модуляции по интенсивности, так же, как и на рис.  $4a$ . На рис.  $4в, 5в, г, 6в, г$  представлены оценки модуля  $RM$  вдоль профиля индивидуальных импульсов для всех этих AIP методами [5, 6, 40—42].

По проанализированным нами импульсам пока не видно четкой зависимости  $|RM|$  от фазы импульса, то есть флуктуации не имеют выраженного тренда. Наблюдаемые флуктуации  $|RM|$  можно интерпре-

тировать как дифференциальный вклад в  $|RM|$  от отдельных магнитных трубок, из которых генерируется зарегистрированное радиоизлучение. Наличие таких трубок предполагалось в нескольких работах, посвященных теоретическим исследованиям эффектов распространения в магнитосфере пульсаров [31—36].

На некоторых профилях  $|RM|$  мы наблюдаем наиболее интенсивные флуктуации на фоне профиля импульса. Интенсивность импульсной составляющей на тех же долготах, на которых и наблюдаются флуктуации  $|RM|$ , еще довольно высока.

Если рассмотреть импульс с наилучшим соотношением  $S/N$  и выраженной фарадеевской модуляцией (рис. 4в), обращает на себя внимание плавное уменьшение, а затем небольшое увеличение значений  $|RM(\nu)|$  на графике. Такая зависимость может свидетельствовать о том, что в данном диапазоне частот профиль импульса может быть двухкомпонентным. Задняя — менее интенсивная составляющая может быть блендирована «хвостом» первой составляющей импульса из-за большой постоянной времени рассеивания.

На рис. 4г представлена попытка определить ход  $|RM(\nu)|$  для импульса без выраженной амплитудной модуляции. Выбранные параметры обработки на динамическом спектре не позволяют точно оценить  $|RM|$ , хотя отношение  $S/N$  в профиле является достаточным для правильной оценки. Для корректного определения  $|RM|$  в индивидуальных импульсах, соотношение  $S/N$  должно быть больше 30...40. При этом частотное разрешение в динамических спектрах должно быть достаточно высоким. Ошибки при оценивании  $|RM|$  определяются в данном случае неверным частотным разрешением в динамическом спектре этого импульса.

В качестве еще одной возможной интерпретации можно рассматривать либо полную компенсацию эффекта Фарадея, либо полную деполаризацию излучения на данных долготах. На настоящий момент ничего более определенного предположить нельзя. Дальнейшие наблюдения данного пульсара прольют свет на сделанные нами предположения.

## ВЫВОДЫ

Впервые в декаметровом диапазоне получены оценки таких параметров среды распространения в направлении на пульсар PSR J0242+6256, как мера дисперсии, мера рассеяния, постоянная времени рассеяния и ее спектральный индекс. Все оценки параметров среды распространения были получены на коротких временных интервалах анализа. Из анализа постоянных времени рассеяния и мер дисперсии пульсаров J0242+6256 и J0953+0755 можно утверждать, что интенсивность турбулентности в направлении на пульсар J0242+6256 на порядок превышает интенсивность турбулентности в направлении на пульсар J0953+0755.

Получены оценки средних значений величины  $|RM(\ )|$  и ее среднего квадратичного отклонения.

Обнаружен эффект интенсивных изменений (вплоть до нулевых значений) меры вращения в направлении на данный пульсар на «хвостах» аномально интенсивных импульсов. Возможным объяснением обнаруженного эффекта может быть либо полная компенсация фарадеевского вращения, либо полная деполяризация радиоизлучения пульсара на данных долготях в декаметровом диапазоне.

1. Васильева Я. Ю., Захаренко В. В., Коноваленко А. А., Зарка Ф., Ульянов О. М., Шевцова А. И., Скорик А. О. Декаметровый обзор северного неба с целью поиска пульсаров и источников транзиентного излучения. Первые результаты. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2014. 19, № 3. Р. 197—205.
2. 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. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2017. 22, № 2. Р. 93—111.
3. Ульянов О. М., Дешпанде А., Захаренко В. В., Асгекар А. Двухчастотные наблюдения шести пульсаров с использованием УТР-2 и GEETEE радиотелескопов. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2007. 12, № 1. С. 5—20.
4. Ульянов О. М., Захаренко В. В., Коноваленко А. А., Лекашо А., Розолен К., Рукер Х. О. Обнаружение индивидуальных импульсов пульсаров B0809+74; B0834+06; B0943+10; B0950+08; B1133+16 в декаметровом диапазоне волн. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2006. Т. 11, № 2. С. 113—134.
5. Ульянов О. М., Шевцова А. И., Скорик А. О. Алгоритмы определения поляризационных параметров радиоизлучения пульсаров. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2014. 19, № 2. Р. 101—110.
6. Ульянов О. М., Шевцова А. И., Скорик А. А. Поляризационное зондирование магнитосферы пульсаров. *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории*. 2013. 109, № 4. С. 159—168.
7. Abranin E. P., Bruck Y. M., Zakharenko V. V., Konovalenko A. A. The new preamplification system for the UTR-2 Radio Telescope. *Experim. Astron.* 2001. 11. Р. 85—112.
8. ATNF Pulsar Catalog. 2015. URL: <http://www.atnf.csiro.au/people/pulsar/psrcat/>
9. Boyles J., Lynch R. S., Ransom S. M., et al. The Green Bank Telescope 350 MHz Drift-scan survey. I. Survey observations and the discovery of 13 pulsars. *Astrophys. J.* 2013. 763. Р. 80.
10. Braude S. I., Men A. V., Sodin L. G. The UTR-2 decametric-wave radio telescope. *Antenny*. 1978. 26. Р. 3—15.
11. Bruk Y. M., Ulyanov O. M., Ustimenko B. Y. Detection and Investigation of the Radio Emission of the Pulsar PSR:1530+27 at 25-MHZ. *Sov. Astron.* 1986. 30. Р. 574.
12. Bruk Y. M., Ulyanov O. M., Ustimenko B. Y. A method of determining the dispersion measure of pulsar radio emission. *Sov. Astron.* 1987. 31. Р. 389.
13. Coenen T., van Leeuwen J., Hessels J. W. T., et al. The LOFAR pilot surveys for pulsars and fast radio transients. *Astron. and Astrophys.* 2014. 570. Р. A60.
14. Cordes J. M., Lazio T. J. W. NE2001. I. A new model for the galactic distribution of free electrons and its fluctuations. ArXiv Astrophysics e-prints: arXiv:astro-ph/0207156 — 2002.
15. Hankins T. H., Rickett B. J. Pulsar signal processing. *Meth. Comput. Phys.* 1975. 14. Р. 55—129.

16. Hessels J. W. T., Ransom S. M., Kaspi V. M., et al. The GBT350 Survey of the Northern Galactic Plane for radio pulsars and transients. 40 Years of Pulsars: Millisecond Pulsars, Magnetars and More. 2008. 983. P. 613—615.
17. Konovalenko A., Sodin L., Zakharenko V., et al. The modern radio astronomy network in Ukraine: UTR-2, URAN and GURT. *Experim. Astron.* 2016. 42, № 1. P. 11—48.
18. Kravtsov I. P., Zakharenko V. V., Vasylieva I. Y., et al. Parameters of the transient signals detected in the decameter survey of the northern sky. *Odessa Astron. Publs.* 2016. 29. P. 179—183.
19. Kuzmin A. D. Giant pulses of pulsar radio emission. *Astrophys. and Space Sci.* 2007. 308. P. 563—567.
20. Kuzmin A. D., Ershov A. A. Detection of giant radio pulses from the pulsar PSR B0656+14. *Astron. Lett.* 2006. 32. P. 583—587.
21. Lynch R. S., Boyles J., Ransom S. M., et al. The Green Bank Telescope 350 MHz drift-scan survey II: Data analysis and the timing of 10 new pulsars, including a relativistic binary. *Astrophys. J.* 2013. 763. P. 81.
22. Malofeev V. M., Gil J. A., Jessner A., et al. Spectra of 45 pulsars. *Astron. and Astrophys.* 1994. 285. P. 201—208.
23. Malofeev V. M., Malov O. I., Shchegoleva N. B. Discovery of a burst in one pulse component in the pulsar PSR B0643 + 80. *Astron. Reports.* 1998. 42. P. 241—245.
24. Malov I. F., Malofeev V. M., Sen'e D. S. Observed total radio luminosities of 232 pulsars. *Astron. Reports.* 1994. 38. P. 677—682.
25. Malov I. F., Malov O. I., Malofeev V. M. The investigations of pulsar integrated radio luminosities. *Astron. Astrophys. Trans.* 1996. 10. P. 205—210.
26. Manchester R. N., Hobbs G. B., Teoh A., Hobbs M. The Australia telescope national facility pulsar catalogue. *Astron. J.* 2005. 129. P. 1993—2006.
27. Megn A. V., Sodin L. G., Sharykin N. K., Bruk Yu. M. The principles of the construction and characteristics of the radio telescope UTR-2 antennas. *Antenny.* 1978. 26. P. 15—57.
28. Melrose D. B. Propagation effects on the polarization of pulsar radio emission. *Austral. J. Phys.* 1979. 32. P. 61—70.
29. Noutsos A., Karastergiou A., Kramer M., et al. Phase-resolved Faraday rotation in pulsars. *Mon. Notic. Roy. Astron. Sci.* 2009. 396. P. 1559—1572.
30. Noutsos A., Sobey C., Kondratiev V. I., et al. Pulsar polarisation below 200 MHz: Average profiles and propagation effects. *Astron. and Astrophys.* 2015. 576. P. A62.
31. Petrova S. A. On the origin of orthogonal polarization modes in pulsar radio emission. *Astron. and Astrophys.* 2001. 378. P. 883—897.
32. Petrova S. A. The influence of magnetospheric refraction on the apparent spatial structure of a pulsar emission region. *Mon. Notic. Roy. Astron. Sci.* 2001. 324. P. 931—936.
33. Petrova S. A. Diagnostics of the plasma of pulsar magnetospheres based on polarization profiles of radio pulses. *Astron. and Astrophys.* 2003. 408. P. 1057—1063.
34. Petrova S. A. Polarization transfer in a pulsar magnetosphere. *Mon. Notic. Roy. Astron. Sci.* 2006. 366. P. 1539—1550.
35. Petrova S. A. Statistics of the individual-pulse polarization based on propagation effects in the pulsar magnetosphere. *Mon. Notic. Roy. Astron. Sci.* 2006. 368. P. 1764—1772.
36. Petrova S. A., Lyubarskii Y. E. Propagation effects in pulsar magnetospheres. *Astron. and Astrophys.* 2000. 355. P. 1168—1180.
37. Popov M. V., Kuz'min A. D., Ul'yanov O. M., et al. Instantaneous radio spectra of giant pulses from the crab pulsar from decimeter to decameter wavelengths. *Astron. Reports.* 2006. 50. P. 562—568.

38. Ryabov V. B., Vavriv D. M., Zarka P., et al. 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. and Astrophys.* 2010. 510. P. A16.
39. Sidorchuk M. A., Ulyanov O. M., Shepelev D. V., et al. Large-scale structure of the Northern sky at decametric waves. Scientific Workshop — Astrophysics with E-LOFAR. 2008.
40. Ulyanov O. M., Shevtsova A. I., Mukha D. V., Seredkina A. A. Investigation of the Earth ionosphere using the radio emission of pulsars. *Baltic Astron.* 2013. 22. P. 53—65.
41. Ulyanov O. M., Shevtsova A. I., Seredkina A. A. Polarization sounding of the pulsar magnetosphere. IAU Symposium. 2013. 291. P. 530—532.
42. Ulyanov O. M., Shevtsova A. I., Skoryk A. O. Polarization sounding of pulsar magnetosphere (Part I). ArXiv e-prints: arXiv:1411. 6453. 2014.
43. Ulyanov O. M., Skoryk A. O., Shevtsova A. I., et al. Detection of the fine structure of the pulsar J0953+0755 radio emission in the decametre wave range. *Mon. Notic. Roy. Astron. Sci.* 2016. 455. P. 150—157.
44. Ul'yanov O. M., Zakharenko V. V. Energy of anomalously intense pulsar pulses at decameter wavelengths. *Astron. Reports.* 2012. 56. P. 417—429.
45. Ul'yanov O. M., Zakharenko V. V., Bruk Y. M. The parameters of pulsar subpulse emission at decameter wavelengths. *Astron. Reports.* 2008. 52. P. 917—924.
46. Volokitin A. S., Krasnoselskikh V. V., Machabeli G. Z. Waves in the relativistic electron-positron plasma of a pulsar. *Sov. J. Plasma Phys.* (ISSN 0360-0343). 1985. 11. P. 310—314.
47. Zakharenko V., Konovalenko A., Zarka P., et al. Digital receivers for low-frequency radio telescopes UTR-2, URAN, GURT. *J. Astron. Instrum.* 2016. 5. P. 1641010—1641738.
48. Zakharenko V. V., Sharykin N. K., Rudavin E. R. Modernization of commutation devices and an improvement of main parameters of the UTR-2 radio telescope. *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel Supplement.* 2005. 5. P. 90—92.
49. Zakharenko V. V., Vasylieva I. Y., Konovalenko A. A., et al. Detection of decametre-wavelength pulsed radio emission of 40 known pulsars. *Mon. Notic. Roy. Astron. Sci.* 2013. 431. P. 3624—3641.

Статья поступила в редакцию 21.09.2017

О. М. Ульянов, А. І. Шевцова, В. В. Захаренко, А. О. Скорик,  
Я. Ю. Васильєва, М. С. Плахов

Радіоастрономічний інститут Національної академії наук України, Харків, Україна

#### ЧАСОВІ ТА ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ PSR J0242+6256 У ДЕКАМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ

Досліджуються характеристики аномально інтенсивних імпульсів пульсара J0242+6256 у декаметровому діапазоні довжин хвиль. Спостереження проведено за допомогою радіотелескопа УТР-2 у жовтні 2014 р. В напрямку на пульсар уточнено міру дисперсії, вперше визначено такі характеристики, як стала часу розсіювання, міра розсіювання та міра обертання. Також розглянуто швидкі зміни міри обертання вздовж профілів індивідуальних аномально інтенсивних імпульсів. Отримані характеристики показують, що, незважаючи на невелику міру дисперсії та близьке розта-

шування пульсара відносно Землі, він має велику міру розсіювання. Швидкі зміни міри обертання вздовж профілів імпульсів цього пульсара можливо обумовлені наявністю поблизу пульсара плазми з параметрами, що швидко змінюються.

**Ключові слова:** пульсар, поляризація, міра обертання, міра дисперсії, міра розсіювання.

*O. M. Ulyanov, A. I. Shevtsova, V. V. Zakharenko, A. O. Skoryk,  
I. Y. Vasylieva, M. S. Plakhov*  
Institute of Radio Astronomy of the National Academy of Sciences  
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

TIME AND POLARIZATION RADIATION CHARACTERISTICS  
PSR J0242 + 6256 AT DECAMETER RANGE

The characteristics of anomalously intense pulses of the pulsar J0242 + 6256 in the decameter wavelength range are studied in the paper. Observations were made using the UTR-2 radio telescope in October 2014. The dispersion measure for the pulsar was precisely determined. For the first time such characteristics as the scattering time constant, the scattering measure and the rotation measure towards the pulsar were determined. Also, the rapid changes in the rotation measure along the profiles of individual anomalously intense pulses were considered. The obtained characteristics show that, despite the small dispersion measure and the close arrangement to the Earth, the scattering measure towards the pulsar is large. Rapid changes in the rotation measure along the pulse profiles of this pulsar possibly are due to the presence of a plasma with rapidly changing parameters near the pulsar.

**Keywords:** pulsar, polarization, rotation measure, dispersion measure, scattering measure.