

К 100-летию И. С. Шкловского

ДЕКАМЕТРОВЫЙ ОБЗОР СЕВЕРНОГО НЕБА С ЦЕЛЬЮ ПОИСКА ПУЛЬСАРОВ И ИСТОЧНИКОВ ТРАНЗИЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ПАРАМЕТРЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Предмет и цель работы: исследование характеристик индивидуальных всплесков, зарегистрированных в ходе проводящегося на радиотелескопе УТР-2 декаметрового обзора северного неба с целью поиска пульсаров и источников транзиентного излучения, исходя из анализа 70 % первичных данных.

Методы и методология: Выделенные с помощью программ очистки радиоастрономических записей от радиопомех искусственного и естественного происхождения индивидуальные импульсы анализируются на наличие свойств, характерных для космических источников радиоизлучения.

Результаты: Анализ распределений таких параметров, как локальное время детектирования индивидуальных импульсов (связано с помеховой обстановкой) и мера дисперсии зарегистрированных импульсов, позволяет предположить, что большинство протектированных сигналов порождаются источниками космического радиоизлучения.

Заключение: Обработка оставшихся 30 % данных обзора необходима, но, видимо, она не сможет существенно повлиять на найденные распределения характеристик индивидуальных сигналов, полученные в ходе текущего обзора. Однако поскольку источники транзиентных сигналов чрезвычайно трудно идентифицировать, для доказательства утверждения о космическом происхождении зарегистрированных сигналов требуется провести дополнительные тесты.

Ключевые слова: обзор, одиночный импульс, помеха, мера дисперсии, декаметровый диапазон

1. Введение

Влияние И. С. Шкловского на развитие радиоастрономии трудно переоценить. Являясь одним из ее родоначальников, он определял основные направления развития этой области фундаментальной науки (см. статью А. А. Коноваленко в этом номере журнала). Одним из важнейших аспектов его научной деятельности было исследование явления сверхновых, как собственно взрывов, так и дальнейшей эволюции звездной материи: рассеянных взрывом звездных оболочек и компактных остатков (в первую очередь нейтронных звезд). Непосредственно этой теме И. С. Шкловский посвятил более 60 работ. Он исследовал процессы и явления, связанные со сверхновыми, многогранно: вплоть до изучения их влияния на живые организмы в процессе земной эволюции (вымирание рептилий и т. п.).

В этой связи становится понятным пристальное внимание И. С. Шкловского к исследованию пульсаров, в том числе, конечно, и на крупнейшем низкочастотном радиотелескопе

УТР-2. Открытие декаметрового излучения нескольких пульсаров и публикации в журнале Nature [1, 2] подогрели интерес к низкочастотным исследованиям импульсного радиоизлучения, хотя, как вспоминал Ю. М. Брук, общие скептические настроения относительно возможностей исследования низкочастотного пульсарного радиоизлучения были очень сильны. Как хорошо известно, они были связаны с несколькими мешающими факторами, которые очень серьезно осложняли исследования. Во-первых, необходимо упомянуть чрезвычайно высокие температуры галактического фона (десятки и сотни тысяч градусов) на низких частотах, особенно в направлении на центр и антицентр Галактики. А ведь именно в этих направлениях на высоких частотах регистрировали наибольшее количество пульсаров, например, первый открытый PSR B1919+21 [3] (или CP 1919+21 – “кембриджский пульсар”) или пульсар в Крабовидной туманности (антицентр). Вторым мешающим фактором была огромная дисперсионная задержка низких частот по отношению к высоким, которая приводила к “размазыванию” импульса в недостаточно узкополосном канале.

Использование узкополосных каналов – отдельных приемников со сложной системой фильтрации, количество которых в обсерваториях обычно не превышало нескольких десятков, – не позволяло получить достаточную широкую суммарную полосу и, соответственно, чувствительность. Кроме того, в межзвездной среде (МЗС) с понижением частоты рассеяние растет в степени 4 (для нормального распределения неоднородностей) или 4.4 (для распределения Колмогорова). Это приводит к тому, что импульсы от пульсара в Крабовидной туманности (с периодом ~ 0.033 с) наблюдать в декаметровом диапазоне невозможно. А исследование Крабовидной туманности во всем ее многообразии сыграло, по словам самого И. С. Шкловского, выдающуюся роль в истории астрофизики.

Таким образом, для исследования пульсаров нужно было отказаться от стандартных методов повышения чувствительности измерений за счет большого накопления сигнала по времени и частоте и разработать с нуля многоканальную аппаратуру с возможностью быстрого запоминания и хранения/накопления результатов детектирования сигнала до момента считывания данных в конце цикла наблюдений. Фактически (еще до появления в обсерватории УТР-2 электронно-вычислительных машин (ЭВМ) и аналого-цифровых преобразователей (АЦП)), была разработана новая многоканальная аппаратура записи/обработки/считывания на дискретных элементах [1], аналогичная по функциям приборам с зарядовой связью и оперативной памяти компьютера.

Иосиф Самуилович Шкловский уделял большое внимание исследованиям пульсаров на радиотелескопе УТР-2, интересовался новыми результатами и организовывал обсуждения программ исследований. Авторы этих работ (Ю. М. Брук и Б. Ю. Устименко), вдохновленные впечатляющими успехами в детектировании радиоизлучения пульсаров на частотах вплоть до 10 МГц, предложили для обсуждения программу “слепого” (без наличия априорной информации о периоде пульсара и мере дисперсии в среде распространения сигнала) поиска пульсаров на радиотелескопе УТР-2. Однако, по словам Л. Г. Содина, И. С. Шкловский не поддержал эту идею из-за упомянутых выше чрезвычайных трудностей регистрации пульсаров на

низких частотах и высоких затрат наблюдательного времени. И это несмотря на то, что поиск и каталогизация исследуемых объектов является основой для начала любого дальнейшего их изучения. В настоящее время такой “слепой” поиск пульсаров и источников транзиентного (появляющегося однократно, “преходящего”) излучения на радиотелескопе УТР-2 успешно проводится. Поэтому одной из целей статьи является описание способов преодоления негативных факторов декаметрового диапазона и преимуществ, которые позволяют говорить об уникальности проводимого декаметрового обзора северного неба с целью поиска пульсаров и источников транзиентного излучения (в дальнейшем Обзора). Также будут представлены некоторые промежуточные результаты обработки большого количества исходных данных (более 80 терабайт).

Создание условий для проведения Обзора непосредственно связано с совершенствованием аппаратуры радиотелескопа УТР-2. В середине 70-х гг. прошлого века (когда впервые рассматривалась возможность проведения Обзора) она состояла из тридцати радиоприемников коротковолнового диапазона, многоканального АЦП и ЭВМ, в оперативной памяти которой проводилось усреднение сотен периодов пульсаров для получения и вывода среднего профиля на устройства хранения. Возможности запомнить каждый отсчет АЦП по каждому каналу не было. Поэтому детектирование критически зависело от априорной информации о периоде пульсара, который изменяется в первую очередь из-за доплеровского смещения частоты принимаемого сигнала в зависимости от орбитального движения Земли, и от меры дисперсии (DM) – параметра, определяющего дисперсионное запаздывание сигналов на разных частотах в МЗС.

Пульсары – достаточно слабые источники повторяющегося радиоизлучения. Для получения заметного отношения сигнал/шум (S/N), которое пропорционально радиометрическому выигрышу $(\Delta f \cdot \Delta t)^{0.5}$, следует расширять полосу Δf регистрации и увеличивать время накопления Δt сигналов. На высоких частотах (сотни и тысячи мегагерц) дисперсионное запаздывание между нижней (f_l) и верхней (f_h) частотами диапазона для пульсара с мерой дисперсии DM равно

$\frac{10^{16}}{2.4100331} DM(f_1^{-2} - f_h^{-2})$ и составляет доли и единицы микросекунд в канале шириной единицы мегагерц. Это позволяет делать каналы достаточно широкополосными и получать большой радиометрический выигрыш. В декаметровом диапазоне для самого близкого пульсара В0950+08 запаздывание сигнала между частотами 25 и 24 МГц составляет около 1.6 с, что в несколько раз превышает значение периода для этого пульсара (0.253 с) и в десятки раз – длительность самого импульса. Поэтому требовалось обеспечить большое количество узкополосных каналов, что для аналоговой аппаратуры 20- и 30-летней давности было технически неразрешимой задачей. Временное разрешение аналоговой аппаратуры, а также возможности записи, обработки и накопления сигналов в цифровой форме еще 20 лет назад также были очень скромны.

Можно оценить время, необходимое для проведения низкочастотного поискового обзора пульсаров на УТР-2 с помощью регистрирующей техники 30-летней давности. При времени накопления сигналов от источника около 1 ч при относительной ошибке 10^{-5} между предустановленным (например, 1 с) и реальным периодом пульсара за время регистрации 3600 импульсов накопится сдвиг 36 мс, что еще допустимо, но уже достаточно плохо для получения среднего профиля. Допустимая ошибка в предустановленной и истинной мере дисперсии для искомого пульсара не должна превышать $0.1 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-3}$, что для поиска в пределах $0 \div 30 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-3}$ составляет (по отношению к максимальному значению) $1/300$ часть. Тогда при 80000 положений луча УТР-2 на небесной сфере потребуется $10^5 \cdot 300 \cdot 80000 / (24 \cdot 365) = 2.74 \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^8$ лет. Очевидно, что таким образом поставленная задача решения не имеет, и мнение И. С. Шкловского о нецелесообразности проведения поискового обзора пульсаров в середине 70-х гг. имело под собой надежное основание.

Однако число операций с плавающей точкой (при их количестве в секунду около 10000) в таком обзоре относительно невелико: ~ 60 ПетаFLO (10^{15} Floating-point Operations). Это говорит о том, что с развитием цифровой регистрирующей аппаратуры, с увеличением производительности компьютеров и объемов запоминающих устройств

такой необходимый и востребованный обзор становится реализуемым.

Цифровые приемники с вычислением в реальном времени быстрого преобразования Фурье последовательности в 2^n отсчетов выполняют $\sim n \log_2 n$ операций для получения одного спектра. Допустим, что $n=14$ и временное разрешение равно 0.125 мс (8000 спектров в секунду). Тогда при измерении в пятилучевом режиме [4] двухканальными приемниками [5, 6] оказывается достаточно 80 ночей наблюдений (по 12 часов). Количество операций при проведении наблюдений можно оценить как произведение числа операций в секунду, осуществляемых пятью двухканальными приемниками, и времени наблюдений (ночей, часов, секунд): $(16384 \cdot 14) \cdot 8000 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 12 \cdot 3600$. Оно составляет 63.4 ПетаFLO, т. е. примерно такое же, как в полученной выше оценке. За скорость измерений “заплачено” высокой требуемой вычислительной мощностью цифровых приемников и объемом дискового пространства (~ 80 терабайт). Обработка записанных данных “оффлайн” позволяет компенсировать дисперсионную задержку [7] с шагом менее $0.001 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-3}$ (что требует примерно на 2 порядка больше операций, чем при записи).

Не менее важно и то, что антенна “Север–Юг” УТР-2 имеет “ножевую” диаграмму направленности шириной около 15° в направлении запад – восток. Если центр диаграммы направленности в меридиан, то источник проходит такую диаграмму за время около 1 ч. Это значит, что повторяющееся излучение источника будет накапливаться такое же время. Для транзиентных событий возможности накопления во времени не существует, но диаграмма направленности антенны с широким полем зрения позволяет зафиксировать большее их число. Это важное обстоятельство необходимо иметь в виду при интерпретации полученных результатов. Следует упомянуть также, что благодаря разной мере дисперсии и различному периоду (для пульсаров) проблема “спутывания” для такого рода широкополосных сигналов практически отсутствует.

Временное разрешение (~ 8 мс) выбрано компромиссным исходя из возможности аппаратного накопления данных и рассеяния импульсов в МЗС. Только у трех ближайших известных пульсаров постоянная времени рассеяния в декаметровом диапазоне меньше 8 мс. Поэтому

выбранное аппаратное накопление (по 64 исходных спектра) обеспечивает достаточно подробное отображение формы среднего импульса (с учетом рассеяния) и высокую степень сжатия данных. Точность определения периода пульсара при этом задается отношением временного разрешения ко времени накопления импульсов пульсара в луче диаграммы направленности антенны “Север–Юг” (~ 3600 с), т. е. $\sim 2 \cdot 10^{-6}$. Благодаря высокой производительности компьютеров обработка может распараллеливаться и проводиться в конвейерном режиме в ходе и после измерений [8].

Таким образом, задача проведения обзора пульсаров и транзиентов в декаметровом диапазоне оказывается надежно обоснованной. Во втором разделе кратко описаны проведенные наблюдения и этапы обработки данных. При описании текущих результатов исследований (раздел 3) мы сосредоточимся на анализе характеристик индивидуальных импульсов (транзиентных событий), которые были зарегистрированы при проведении Обзора [9, 10]. В четвертом разделе обсуждаются полученные результаты исследования.

2. Наблюдения и обработка данных

Проводимый Обзор [11] охватывает часть небесной сферы со склонением от -10° до 90° . Для того чтобы минимизировать влияние помех, наблюдения проводятся в ночное время по 13 ч (обычно с 18:00 до 7:00 локального времени для обеспечения перекрытия двух 12-часовых интервалов по прямому восхождению). Наблюдения вблизи весеннего и осеннего равноденствий позволяют примерно уравнивать воздействие помех в обоих 12-часовых интервалах. Отметим, что при этом наблюдения чаще всего начинаются и заканчиваются при значениях прямого восхождения около 6^h и 18^h , что означает запись радиоизлучения из областей (см. карту, изображенную на рис. 1) с низкими галактическими широтами (вблизи диска Галактики, где сосредоточено максимальное количество нейтронных звезд). В настоящее время наблюдения практически закончены (рис. 1).

Затем данные проходят конвейерную обработку [8, 12] с тремя основными этапами:

- очистка от помех,
- дедиспергирование в интервале значений $0 \div 30$ пк·см $^{-3}$ с шагом 0.01 пк·см $^{-3}$,

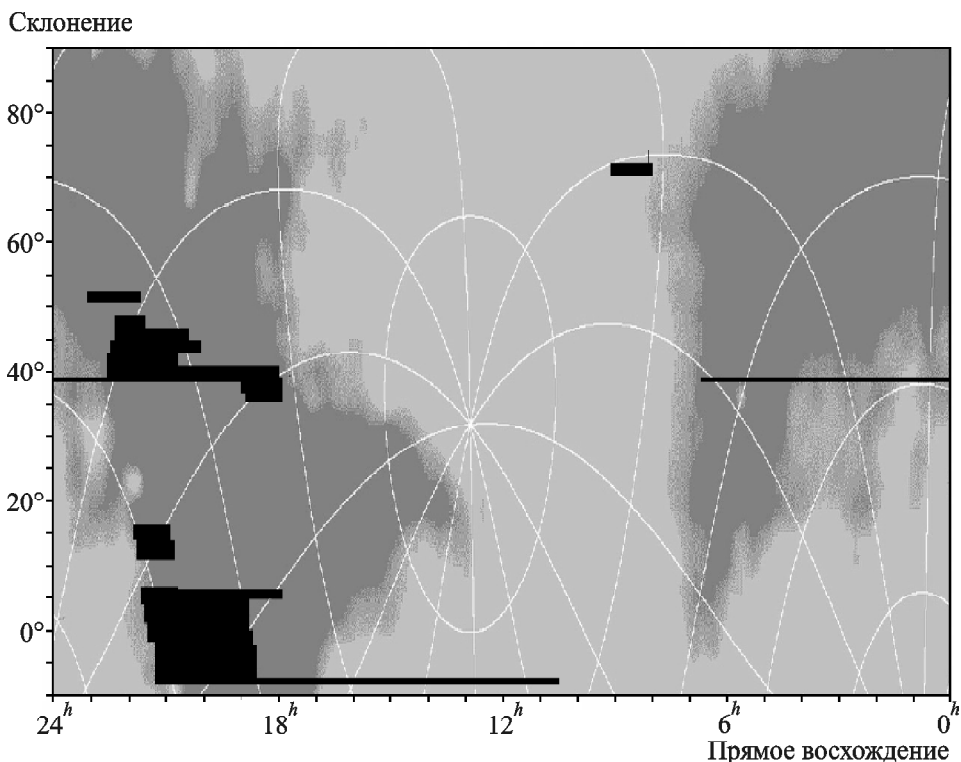


Рис. 1. Карта неба с отмеченными (черным) областями, для которых еще нет наблюдательных данных Обзора

– интегрирование по частоте и поиск событий, превышающих уровень 5.5σ (σ – среднеквадратичное отклонение шумового сигнала).

В режиме поиска индивидуальных импульсов было впервые зафиксировано излучение недавно открытого пульсара J0243+6257 с отношением С/Ш более 20 [11] и многочисленные импульсы известных пульсаров с отношением С/Ш более 40. Эти результаты подтвердили достаточно высокую эффективность программ поиска. Но при анализе менее интенсивных событий стала очевидной необходимость совершенствования программ проверки протектированных сигналов на наличие помех, которые во многих участках записей оказались довольно сильными, несмотря на достаточно эффективную процедуру их подавления. Такие участки записи, а значит и сигналы-“кандидаты” удаляются из данных при визуальном контроле. Он осуществляется с помощью специально разработанного программного обеспечения. На зависимости “мера дисперсии – время” отмечаются только события, превышающие уровень 5.5σ . Визуально отбираются “кандидаты” с длительностью минимум 2 отсчета, что эквивалентно уровню превышения примерно 7.7σ . Визуально сигналы не должны принадлежать никаким структурам на плоскости “мера дисперсии – время” (что обычно характерно для помех). Мера дисперсии должна быть больше $2 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-3}$, т. к. нулевое значение характерно для широкополосных помех. В момент выбора (кнопкой “мыши”) программа селекции находит максимальное значение отношения С/Ш в интервалах ± 0.5 с и $\pm 0.1 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-3}$ и заносит его в базу данных.

Для дальнейшего всестороннего анализа “кандидатов”, а также более надежного выделения сигналов космических источников на фоне помех земного происхождения был разработан комплекс программ, аналогичный конвейеру первоначальной обработки, но имеющий возможности подстройки параметров обработки и одновременно визуального контроля всех ее этапов – “короткий конвейер” [9, 10].

“Короткий конвейер” позволяет с помощью подстройки таких параметров, как мера дисперсии, верхняя и нижняя частоты среза фильтра, отсеивать сигналы, имеющие явные признаки помех: узкополосные или изменяющиеся с частотой по закону, отличному от f^{-2} (рис. 2). Пример

такой помехи (V-образный сигнал на спектрограмме) приведен на рис. 3. Сигнал накапливается как во всей полосе, так и в четырех субполосах шириной по 4.125 МГц (рис. 2, б). Дополнительно в программу введена возможность изменения количества полос от 4 до 256 (рис. 2, в). На этом этапе работы обязательно уточняется значение меры дисперсии, исходя из условия максимизации отношения С/Ш. Эти данные наряду с видом итоговой дедиспергированной спектрограммы импульса (рис. 2, а) и сечений по частоте и времени заносятся в базу данных. Важно подчеркнуть, что сигналы с близкими ($\pm 0.2 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-3}$) к определенным с высокой точностью значениям меры дисперсии для известных пульсаров [7] исключаются из рассмотрения.

Таким образом, в базу данных попадают сигналы:

- не имеющие признаков помех,
- достаточно широкополосные (более 1 МГц),
- с длительностью (во всей полосе частот) от 16 до 160 мс,
- имеющие закон дисперсии, очень близкий к ожидаемому (f^{-2}).

Для попадания широкополосного импульса после дедиспергирования в 160-миллисекундный интервал показатель степени при частоте в законе дисперсии может отличаться от 2 не более чем на 0.001 даже для средних значений меры дисперсии ($15 \text{ пк} \cdot \text{см}^{-3}$) и полосе $20 \div 25$ МГц.

Исходя из времени и даты наблюдений вычисляются координаты центра диаграммы направленности радиотелескопа в момент фиксации импульса.

Таким образом, для каждого транзиентного события в базу данных заносятся следующие параметры: экваториальные и галактические координаты центра ДН в момент прихода сигнала на верхней частоте рабочего диапазона; время прихода от начала сеанса как в секундах, так и в юлианских днях; отношение С/Ш и мера дисперсии, полученные при первоначальной обработке, а также эти две характеристики, определенные после подстройки значения меры дисперсии в “коротком конвейере”.

Поскольку самих параметров индивидуальных импульсов, как мы считаем, недостаточно для однозначного разделения космических сигналов и помех искусственного и естественного происхождения, мы анализируем гистограммы распределений значений параметров, что позволяет

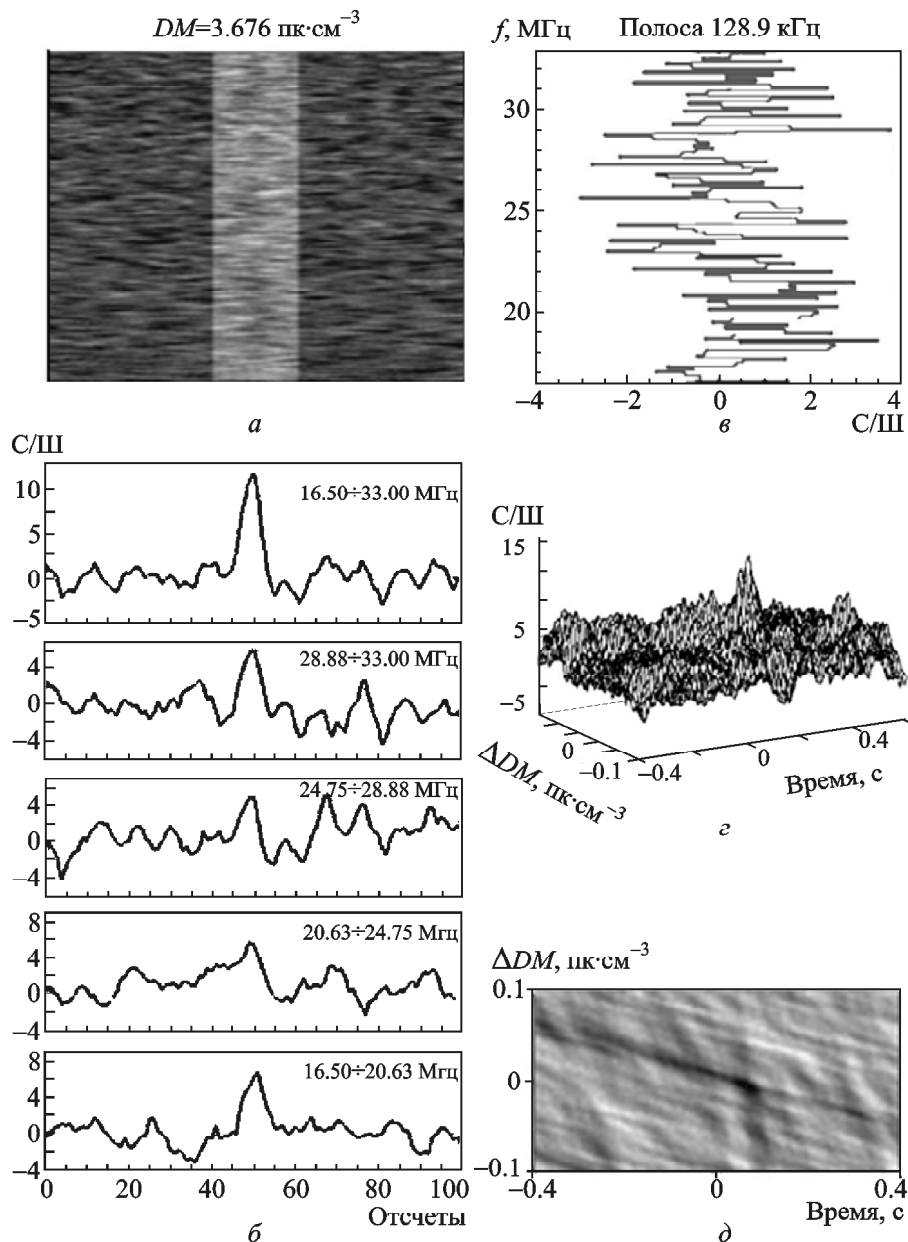


Рис. 2. Временные и спектральные зависимости, определяемые для транзитного сигнала в ходе обработки “коротким конвейером”: *a* – дедиспергированная спектрограмма длительностью 100 отсчетов (~ 800 мс) с окном импульса в 20 отсчетов (~ 160 мс); *б* – проинтегрированный сигнал в полосе 16.5 МГц и в четырех субполосах шириной по 4.125 МГц; *в* – накопленный во времени (20 отсчетов) сигнал с разбивкой по субполосам (от 4 до 256 полос); *г* – зависимость “мера дисперсии – время” (3D вид); *д* – зависимость интенсивности накопленного сигнала на плоскости “мера дисперсии – время”

выявить некоторые общие характеристики этих импульсов.

3. Результаты

В результате обработки примерно 70 % данных обзора было зафиксировано несколько сотен событий – транзитных сигналов. Несмотря на то что основным критерием различения космичес-

ких сигналов и земных помех является дисперсионная зависимость (f^{-2}), при большом числе зарегистрированных сигналов можно использовать некоторые методы статистической обработки. Это может дать подтверждение или опровержение гипотезы о космическом происхождении большинства из них, исходя из характерных особенностей принятых сигналов. Здесь мы рассмотрим

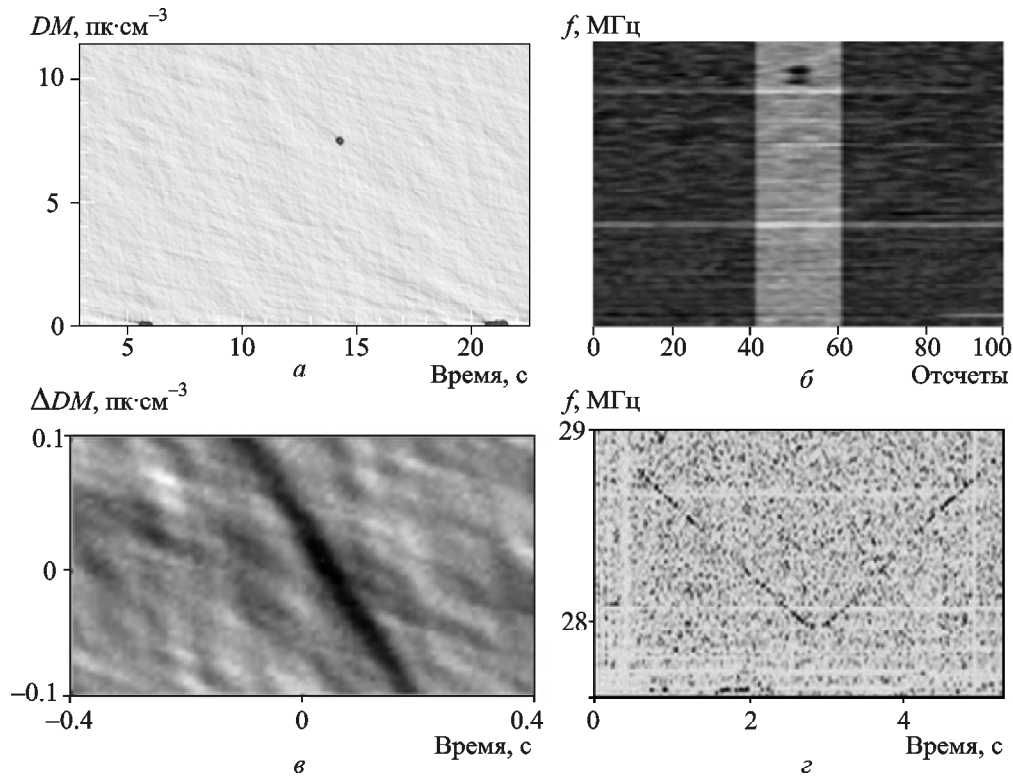


Рис. 3. Пример детектирования сигнала помехи. Начальная обработка данных выделяет сигнал (а), который в дальнейшем анализируется с помощью “короткого конвейера”. Дедиспергированная спектрограмма (б) показывает наличие интенсивных узкополосных компонент (ширина полосы менее 0.8 МГц). Плоскость “мера дисперсии – время” показывает существенное отличие от закона дисперсии (f^{-2}) – не отдельный максимум на плоскости, соответствующий определенному значению меры дисперсии (см. рис. 2, д), а наклонная линия с плохо выраженным максимумом. Это все говорит о необходимости тщательной проверки спектрограммы с исходным импульсом. Выявленная помеха (г) имеет явно искусственный характер

частоту появления одиночных сигналов в зависимости от времени суток и распределение числа зарегистрированных сигналов в зависимости от меры дисперсии.

Распределение количества транзиентов в зависимости от времени начала сеанса. Очевидно, что детектирование ложных космических сигналов связано с локальным временем наблюдений и уровнем радиопомех. Поскольку помеховая обстановка днем, а также в вечерние и утренние часы значительно хуже, чем ночью [13], естественно ожидать увеличения количества детектируемых сигналов (и помех в том числе) в начале и в конце сеанса наблюдений. Это реально и происходит (рис. 4) – в течение первых часов наблюдений количество событий превышает среднее значение. Среднее число “кандидатов”, обнаруженных за 1 ч наблюдений, составляет около 39. Количество событий, зарегистрированных в течение первых двух часов, в $1.45 \div 1.65$ раза превышает этот средний уровень.

Естественно предположить, что некоторое число событий представляет собой помехи, которые не удалось выявить с помощью программ анализа “кандидатов”. Однако допустимо и другое объяснение. На нижней панели рис. 4 показано покрытие небесной сферы наблюдениями, результаты которых уже обработаны к настоящему времени. Как уже было упомянуто в разделе 2, характерной особенностью наблюдений является то, что многие из них начинались и заканчивались тогда, когда телескоп был направлен на участки небесной сферы с низкими галактическими широтами (что зависит от вида диска Галактики в экваториальных координатах), а именно там сосредоточено большинство нейтронных звезд. Поэтому полученное на рис. 4 распределение может быть связано как с плохой помеховой обстановкой в начале сеанса, так и с увеличением плотности событий при приближении к диску Галактики, т. е. в начале и конце сеанса наблюдений.

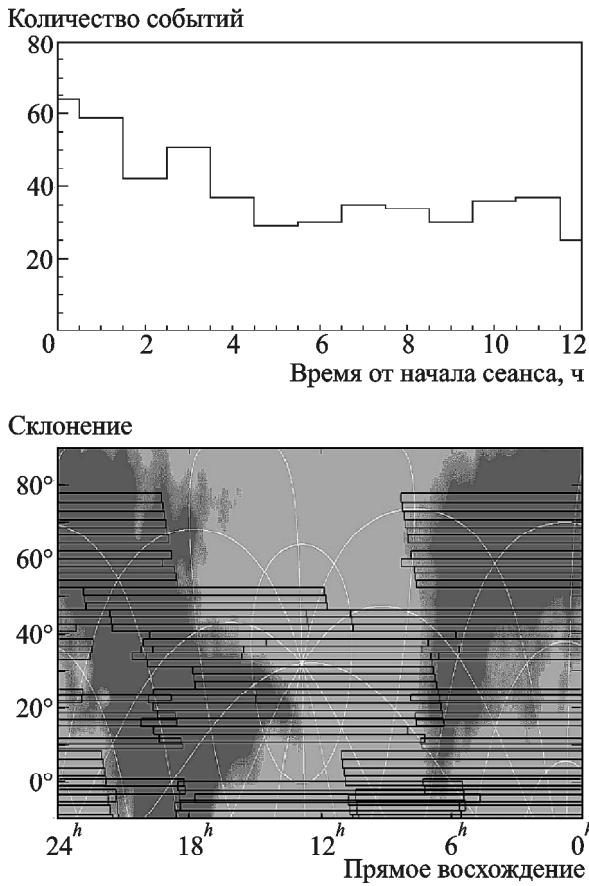


Рис. 4. Распределение количества событий в зависимости от времени сеанса наблюдений (верхняя панель). Покрытие небесной сферы наблюдениями, результаты которых обработаны к настоящему времени (нижняя панель)

В целом, можно заключить, что если бы протектированные индивидуальные сигналы являлись только помехами, то следовало бы ожидать существенного увеличения их количества в начале и в конце сеанса. А мы видим практически равномерное распределение с незначительным превышением по отношению к среднему значению.

Распределение количества событий в зависимости от меры дисперсии. Следующим важным результатом является распределение числа транзитных сигналов, имеющих определенную меру дисперсии (рис. 5). На верхней панели рис. 5 показано такое распределение, полученное в результате обработки части сеансов наблюдений. Для сравнения на нижней панели приведено смоделированное [14] с помощью популяционного синтеза распределение пульсаров (на основе их известных характеристик), которые можно будет

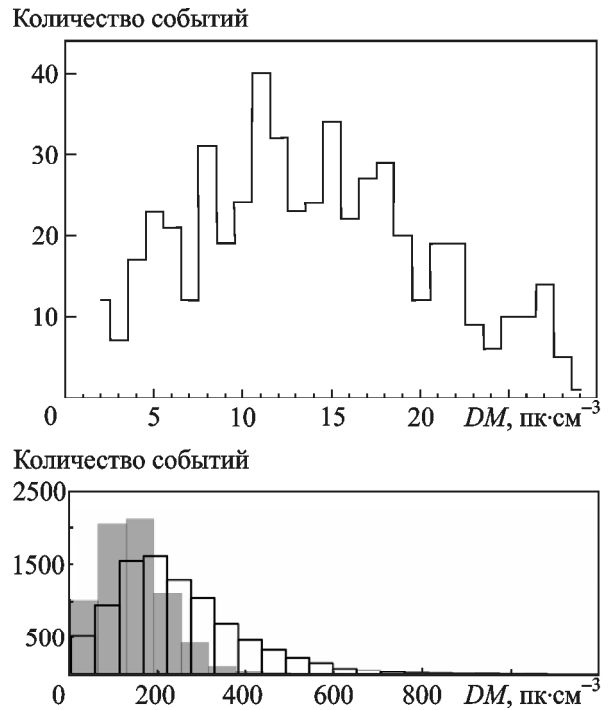


Рис. 5. На верхней панели показана гистограмма распределения событий, зарегистрированных в текущем Обзоре, в зависимости от меры дисперсии. На нижней панели приведено смоделированное распределение для пульсаров [14], которые можно будет наблюдать с помощью радиотелескопа SKA (белые прямоугольники – полоса от 350 МГц до нескольких гигагерц, серые – (50 ÷ 350 МГц))

наблюдать с помощью разрабатываемого гигантского радиотелескопа SKA (Square Kilometre Array), (белые прямоугольники – полоса от 350 МГц до нескольких гигагерц, серые – 50 ÷ 350 МГц). Интерпретация полученного результата достаточно очевидна. Сначала с удалением от наблюдателя растет объем пространства, где значение меры дисперсии лежит внутри заданного интервала. Соответственно, растет и количество источников. Затем из-за падения сигнала и, главное, увеличения рассеяния в МЗС импульсная компонента излучения пульсара уменьшается до полной неразличимости на фоне шумов. Поэтому с увеличением меры дисперсии (и расстояния от наблюдателя) количество источников снижается до минимума. Подобное поведение распределения в зависимости от меры дисперсии характерно и для данных нашего Обзора. Спад начинается гораздо раньше (при значениях меры дисперсии 10 ÷ 15 пк · см⁻³, а не 150 ÷ 200 пк · см⁻³) из-за сильного роста постоянной времени рассеяния

(пропорционально 4-й степени частоты) с приближением к декаметровому диапазону.

Мы считаем, что подобного распределения трудно ожидать для сигналов, которые всецело или в подавляющем большинстве являются радиопомехами в декаметровом диапазоне. В этом случае оно, вероятно, могло бы выглядеть, как равномерное или иметь максимум при самых низких значениях меры дисперсии. Важно, что даже если в числе “кандидатов” содержится некоторое количество неидентифицированных помеховых сигналов (мы считаем это наиболее вероятным), их количество таково, что они не могут существенно повлиять на распределение в зависимости от меры дисперсии, которое ожидается для сигналов космического происхождения.

4. Обсуждение и выводы

Таким образом, судя по индивидуальным характеристикам зарегистрированных сигналов:

- очень хорошее соответствие закону дисперсии,
 - достаточная широкополосность сигнала,
 - отсутствие сильных узкополосных составляющих, –
- и по распределениям их числа в зависимости от
- времени появления и
 - меры дисперсии,

имеющим черты, которые могли бы характеризовать источники космического радиоизлучения, мы склонны считать, что большинство из протектированных в Обзоре транзиентных сигналов порождается различными типами нейтронных звезд. Ими могут быть

– пульсары, которые ориентированы в пространстве неблагоприятно для наблюдения на более высоких частотах (ВЧ, в данном случае – сотни мегагерц, единицы гигагерц);

– вращающиеся радиотранзиенты (RRAT [15]) с малой мерой дисперсии [16], которые ранее (при более высокочастотных наблюдениях) были неверно истолкованы как радиопомехи;

– рентгеновские радиотихие изолированные нейтронные звезды (XDINS);

– пульсары, которые имеют большой (порядка 3) спектральный индекс и, соответственно, увеличение плотности потока на низких частот, например, PSR B0943+10 [17];

– гигантские импульсы миллисекундных пульсаров, которые также ориентированы неблагоп-

риятно для наблюдения на ВЧ (несмотря на то что длительность гигантских импульсов составляет наносекунды, из-за рассеяния в МЗС они значительно расширяются на низких частотах [18] и могут быть зарегистрированы в ходе данного Обзора);

– аномально интенсивные импульсы [19] близких слабых пульсаров.

В число зарегистрированных “кандидатов” могут входить также сигналы от источников неизвестной природы как земного, так и космического происхождения.

Необходимо оговориться, что обработка данных продолжается. Следует обработать еще около 30 %. Однако с достаточной долей уверенности можно предположить, что выявленные особенности распределений транзиентных сигналов в зависимости от меры дисперсии и времени появления сохраняются. Предстоит провести также достаточно большое количество иных тестов для подтверждения гипотезы о космическом происхождении большинства зарегистрированных сигналов (установить распределение сигналов по галактическим координатам, вероятность выявления событий с иными законами дисперсионной задержки и т. п.), которые требуют разработки дополнительного программного обеспечения и времени на проведение.

Не вызывает сомнения, что ближайшее звездное окружение, включая пульсары, вращающиеся радиотранзиенты, рентгеновские радиотихие изолированные нейтронные звезды и другие остатки взрывов сверхновых, подлежат тщательному изучению в связи с широким кругом задач, начиная с проблемы несоответствия количества остатков сверхновых количеству их взрывов и до проблем глобальных рисков для человечества, связанных с взрывами близких сверхновых или галактическими гамма-всплесками (GRB).

Результаты настоящего Обзора, конечно, не ограничиваются задачей детектирования только индивидуальных всплесков. Еще одной важнейшей задачей является детектирование пульсаров или других источников повторяющегося излучения. Но, как показала обработка последовательностей импульсов известных пульсаров, в декаметровом диапазоне практически не существует таких с постоянно присутствующими импульсами (по крайней мере, при имеющемся уровне чувствительности). Поэтому необходимо разра-

ботать специальное программное обеспечение, которое будет производить поиск повторяющегося излучения в скользящем окне изменяющейся длительности (от 32 до 3600 с), что является отдельной задачей и требует на порядки больших вычислительных затрат. Решение этой задачи будет представлено в последующих работах.

Неожиданно большое количество обнаруженных индивидуальных импульсов в данном Обзоре, по-видимому, связано со следующими особенностями низкочастотного диапазона.

– Широкий луч телескопа в режиме суммы диаграмм направленности антенн “Север–Юг” и “Запад–Восток” (около 15 квадратных градусов в отличие от 0.25 для карандашного луча) позволяет фиксировать различные события, а разная мера дисперсии обеспечивает отсутствие “спутывания”.

– Большое дисперсионное запаздывание дает возможность очень надежно разделять помехи и сигналы, имеющие закон изменения с частотой f^{-2} , характерный для излучения космических радиоисточников.

– Расширение конуса излучения космического источника позволяет регистрировать различные типы нейтронных звезд, которые “неудачно” ориентированы и поэтому недоступны для наблюдений на высоких частотах. Интересно заметить, что увеличение углового рассеяние на низких частотах также может способствовать росту вероятности обнаружения импульсов “неудачно” ориентированных пульсаров, хотя и значительно искажает импульсные сигналы.

Возвращаясь к 100-летию юбилею выдающегося астрофизика И. С. Шкловского, следует отметить, что эпоха “бури и натиска” в радио- и всеволновой астрономии сменилась эпохой стремительного накопления данных о разнообразных путях эволюции и различных проявлениях открытых классов источников. Сейчас принято говорить о “зоопарке” нейтронных звезд и других типов объектов. Еще более существенно то, что от изучения “неизменных” источников излучения астрофизика перешла к исследованиям динамической, изменяющейся Вселенной. Около половины публикуемых работ посвящены транзиентным явлениям. Поэтому обзоры, подобные представленному в настоящей работе, будут проводиться постоянно и в различных частотных диа-

пазонах. Очевидно, что для изучения транзиентных событий нужен не однократный “снимок” неба, а его постоянный мониторинг. Этому будет способствовать разработка и строительство новых широкополосных радиотелескопов с большим полем зрения в Радиоастрономическом институте НАН Украины (ГУРТ [20]) и во всем мире (SKA [21], NenuFAR [22], LWA [23] и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bruck Yu. M. and Ustimenko B. Yu. Decametric pulse radioemission from PSR 0809, PSR 1133, and PSR 1919 // *Nature*. – 1973. – Vol. 242, No. 117. – P. 58–59. DOI: 10.1038/physci242058a0
2. Bruck Yu. M. and Ustimenko B. Yu. Decametric radio emission from four pulsars // *Nature*. – 1976. – Vol. 260, No. 5554. – P. 766–767. DOI: 10.1038/260766a0
3. 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
4. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2 // *Антенны*. – Москва: Связь, 1978. – Вып. 26. – С. 3–15.
5. Kozhyn R. V., Vynogradov V. V., and Vavriv D. M. Low-Noise, High Dynamic Range Digital Receiver/Spectrometer for Radio Astronomy Applications // *Int. Kharkov Symposium “Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves (MSMW)”*, 25–30 June 2007 – Kharkiv, Ukraine. – 2007. – P. 736–738. DOI: 10.1109/MSMW.2007.4294797
6. 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
7. Zakharenko V. V., Vasylieva I. Y., Konovalenko A. A., Ulyanov O. M., Serylak M., Zarka P., Griefmeier 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
8. Vasylieva I. Y., Zakharenko V. V., Zarka P., Ulyanov O. M., Shevtsova A. I., and Serezhkina A. A. Data processing pipeline for decameter pulsar/transient survey // *Odessa Astronomical publications*. – 2013. – Vol. 26, Is. 2. – P. 159–161.
9. Zakharenko V. V., Kravtsov I. P., Vasylieva I. Y., Mykhailova S. S., Ulyanov O. M., Shevtsova A. I., Skoryk A. O., Zarka P., and Konovalenko O. O. Decameter pulsars and transients survey of the northern sky. Status, first results, multiparametric pipeline for candidate selection // *Odessa Astronomical publications*. – 2015. – Vol. 28, Is. 2. – P. 252–255. DOI: 10.18524/1810-4215.2015.28.71047
10. Kravtsov I. P., Zakharenko V. V., Vasylieva I. Y., Mykhailova S. S., Ulyanov O. M., Shevtsova A. I., and Skoryk A. O.

- Parameters of the transient signals detected in the decameter survey of the Northern sky // *Odessa Astronomical publications*. – 2016. – Vol. 29. – P. 179–183. DOI: 10.18524/1810-4215.2016.29.85210
11. Vasylieva I. Y., Zakharenko V. V., Konovalenko A. A., Zarka P., Ulyanov O. M., Shevtsova A. I., and Skoryk A. O. Decameter Pulsar/Transient Survey of Northern Sky. First Results // *Радиофизика и радиоастрономия*. – 2014. – Т. 19, №. 3. – С. 197–205
 12. 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. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01246634>
 13. 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., Vavrin 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. 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
 14. Keane E. F., Bhattacharyya B., Kramer M., Stappers B. W., Bates S. D., Burgay M., Chatterjee S., Champion D. J., Eatough R. P., Hessels J. W. T., Janssen G., Lee K. J., van Leeuwen J., Margueron J., Oertel M., Possenti A., Ransom S., Theureau G., and P. Torne. A Cosmic Census of Radio Pulsars with the SKA // *Proc. of the Conference “Advancing Astrophysics with the Square Kilometre Array (AASKA14)”*, 9-13 June 2014. – Giardini Naxos, Italy. – 2014. – id. PoS(AASKA14)040.
 15. McLaughlin M. A., Lyne A. G., Lorimer D. R., Kramer M., Faulkner A. J., Manchester R. N., Cordes J. M., Camilo F., Possenti A., Stairs I. H., Hobbs G., D’Amico N., Burgay M. and O’Brien J. T. Transient radio bursts from rotating neutron stars // *Nature*. – 2006. – Vol. 439, No. 7078. – P. 817–820. DOI: 10.1038/nature04440
 16. Taylor G. B., Stovall K., McCrackan M., McLaughlin M. A., Miller R., Karako-Argaman C., Dowell J., and Schinzel F. K. Observations of Rotating Radio Transients with the First Station of the Long Wavelength Array // *Astrophys. J.* – 2016. – Vol. 831, Is. 2. – id. 140. DOI: 10.3847/0004-637X/831/2/140
 17. Stappers B. W., Hessels J. W. T., Alexov A., Anderson K., Coenen T., Hassall T., Karastergiou A., Kondratiev V. I., Kramer M., van Leeuwen J., Mol J. D., Noutsos A., Romein J. W., Weltevrede P., Fender R., Wijers R. A. M. J., Bähren L., Bell M. E., Broderick J., Daw E. J., Dhillon V. S., Eislöffel J., Falcke H., Griessmeier J., Law C., Markoff S., Miller-Jones J. C. A., Scheers B., Spreeuw H., Swinbank J., ter Veen S., Wise M. W., Wucknitz O., Zarka P., Anderson J., Asgekar A., Avruch I. M., Beck R., Bennema P., Bentum M. J., Best P., Bregman J., Brentjens M., van de Brink R. H., Broekema P. C., Brouw W. N., Brügger M., de Bruyn A. G., Butcher H. R., Ciardi, B., Conway J., Dettmar R.-J., van Duin A., van Enst J., Garrett M., Gerbers M., Grit T., Gunst A., van Haarlem M. P., Hamaker J. P., Heald G., Hoeft M., Holties H., Hornffer A., Koopmans L. V. E., Kuper G., Loose M., Maat P., McKay-Bukowski D., McKean J. P., Miley G., Morganti R., Nijboer R., Noordam J. E., Norden M., Olofsson H., Pandey-Pommier M., Polatidis A., Reich W., Röttgering H., Schoenmakers A., Sluman J., Smirnov O., Steinmetz M., Sterks C. G. M., Tagger M., Tang Y., Vermeulen R., Vermaas N., Vogt C., de Vos M., Wijnholds S. J., Yatawatta S., and Zensus A. Observing pulsars and fast transients with LOFAR // *Astron. Astrophys.* – 2011. – Vol. 530. – id. A80. DOI: 10.1051/0004-6361/201116681
 18. Popov M. V., Kuz'min A. D., Ulyanov O. M., Deshpande A. A., Ershov A. A., Zakharenko V. V., Kondrat'ev V. I., Kostyuk S. V., Losovski B. Y., and Soglasnov V. A. Instantaneous radio spectra of giant pulses from the crab pulsar from decimeter to decameter wavelengths // *Astron. Rep.* – 2006. – Vol. 50, Is. 7. – P. 562–568. DOI: 10.1134/S1063772906070067
 19. Ульянов О. М., Захаренко В. В., Коваленко 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.
 20. Коваленко А. А., Ерин С. Н., Бубнов И. Н., Токарский П. Л., Захаренко В. В., Ульянов О. М., Сидорчук М. А., Степкин С. В., Гридин А. А., Квасов Г. В., Колядин В. Л., Мельник В. Н., Доровский В. В., Калиниченко Н. Н., Литвиненко Г. В., Зарка Ф., Дени Л., Жирав Ж., Рукер Х. О., Панченко М., Станиславский А. А., Христенко А. Д., Муха Д. В., Резниченко А. М., Лисаченко В. М., Борцов В. В., Браженко А. И., Васильева Я. Ю., Скорик А. А., Шевцова А. И., Милостная К. Ю. Астрофизические исследования с помощью малоразмерных низкочастотных радиотелескопов нового поколения // *Радиофизика и радиоастрономия*. – 2016. – Т. 21, № 2. – С. 83–131.
 21. Square Kilometer Array (2017). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://astronomers.skatelescope.org>
 22. Zarka P., Tagger M., Denis L., Girard J. N., Konovalenko A., Atemkeng M., Arnaud M., Azarian S., Barsuglia M., Bonafede A., Boone F., Bosma A., Boyer R., Branchesi M., Briand C., Cecconi B., Célestin S., Charrier D., Chassande-Mottin E., Coffre A., Cognard I., Combes F., Corbel S., Courte C., Dabbech A., Daiboo S., Dallier R., Dumez-Viou C., El Korso M. N., Falgarone E., Falkovych I., Ferrari A., Ferrari C., Ferrière K., Fevotte C., Fialkov A., Fullekrug M., Gérard E., Griebmeier J.-M., Guiderdoni B., Guillemot L., Hessels J., Koopmans L., Kondratiev V., Lamy L., Lanz T., Larzabal P., Lehnert M., Levrier F., Loh A., Macario G., Maintoux J.-J., Martin L., Mary D., Masson S., Miville-Deschenes M.-A., Oberoi D., Panchenko M., Pan-

- dey-Pommier M., Petiteau A., Pinçon J.-L., Revenu B., Rible F., Richard C., Rucker H. O., Salomé P., Semelin B., Serylak M., Sidorchuk M., Smirnov O., Stappers B., Tafoureau C., Tasse C., Theureau G., Tokarsky P., Torchinsky S., Ulyanov O., van Driel W., Vasylieva I., Vaubillon J., Vazza F., Vergani S., Was M., Weber R., and Zakharenko V. NenuFAR: Instrument description and science case // International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT): Proc. conf. – Kharkiv, Ukraine. – 2015. – P. 1–6. DOI: 10.1109/ICATT.2015.7136773
23. Taylor G. B., Ellingson S. W., Kassim N. E., Craig J., Dowell J., Wolfe C. N., Hartman J., Bernardi G., Clarke T., Cohen A., Dalal N. P., Erickson W. C., Hicks B., Greenhill L. J., Jacoby B., Lane W., Lazio J., Mitchell D., Navarro R., Ord S. M., Pihlström Y., Polisensky E., Ray P. S., Rickard L. J., Schinzel F. K., Schmitt H., Sigman E., Soriano M., Stewart K. P., Stovall K., Tremblay S., Wang D., Weiler K. W., White S., and Wood D. L. First Light for the First Station of the Long Wavelength Array // *J. Astron. Instrum.* – 2012. – Vol. 1, No. 1. – id. 1250004. DOI: 10.1142/S2251171712500043
- ## REFERENCES
- BRUCK, YU. M. and USTIMENKO, B. YU., 1973. Decametric Pulse Radioemission from PSR 0809, PSR 1133, and PSR 1919. *Nature*. vol. 242, no. 117, pp. 58–59. DOI: 10.1038/physci242058a0
 - BRUCK, YU. M. and USTIMENKO, B. YU., 1976. Decametric radio emission from four pulsars. *Nature*. vol. 260, no. 5554, pp. 766–767. DOI: 10.1038/260766a0
 - HEWISH, A., BELL, S. J., PILKINGTON, J. D. H., SCOTT, P. F. and COLLINS, R. A., 1968. *Nature*. vol. 217, no. 5130, pp. 709–713. DOI: 10.1038/217709a0
 - BRAUDE, S. Y., MEGN, A. V. and SODIN, L. G., 1978. Decameter wave band radio telescope UTR-2. In: *Anteny*. Moscow, USSR: Svyaz' Publ. no 26, pp. 3–15 (in Russian).
 - KOZHYN, R. V., VYNOGRADOV, V. V. and VAVRIV, D. M., 2007. Low-Noise, High Dynamic Range Digital Receiver/Spectrometer for Radio Astronomy Applications. In: *Int. Kharkov Symposium "Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves (MSMW)"*. Kharkiv, Ukraine, 25-30 June 2007, pp. 736–738. DOI: 10.1109/MSMW.2007.4294797
 - RYABOV, V. B., VAVRIV, D. M., ZARKA, P., RYABOV, B. P., KOZHIN, R. V., 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
 - 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., 2013. Detection of decametre-wavelength pulsed radio emission of 40 known pulsars. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* vol. 431, no. 4, pp. 3624–3641. DOI: 10.1093/mnras/stt470
 - VASYLIEVA, I. Y., ZAKHARENKO, V. V., ZARKA, P., UIYANOV, O. M., SHEVTSOVA, A. I. and SEREDKINA, A. A., 2013. Data processing pipeline for decameter pulsar/transient survey. *Odessa Astronomical publications*. vol. 26, is. 2, pp. 159–161
 - ZAKHARENKO, V. V., KRAVTSOV, I. P., VASYLIEVA, I. Y., MYKHAILOVA, S. S., ULYANOV, O. M., SHEVTSOVA, A. I., SKORYK, A. O., ZARKA, P. and KONOVALENKO, O. O., 2015. Decameter pulsars and transients survey of the northern sky. Status, first results, multiparametric pipeline for candidate selection. *Odessa Astronomical publications*. vol. 28, is. 2, pp. 252–255. DOI: 10.18524/1810-4215.2015.28.71047
 - KRAVTSOV, I. P., ZAKHARENKO, V. V., VASYLIEVA, I. Y., MYKHAILOVA, S. S., ULYANOV, O. M., SHEVTSOVA, A. I. and SKORYK, A. O., 2016. Parameters of the transient signals detected in the decameter survey of the Northern sky. *Odessa Astronomical publications*. vol. 29, pp. 179–183. DOI: 10.18524/1810-4215.2016.29.85210
 - VASYLIEVA, I. Y., ZAKHARENKO, V. V., KONOVALENKO, A. A., ZARKA, P., ULYANOV, O. M., SHEVTSOVA, A. I. and SKORYK, A. O., 2014. Decameter Pulsar/Transient Survey of Northern Sky. First Results. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 19, is. 3, pp. 197–205
 - 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 9 February 2017]. Available from: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01246634>
 - 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., 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., KOSHOVYY, 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., 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.
 - KEANE, E. F., BHATTACHARYYA, B., KRAMER, M., STAPPERS, B. W., BATES, S. D., BURGAY, M., CHATTERJEE, S., CHAMPION, D. J., EATOUGH, R. P., HESSELS, J. W. T., JANSSEN, G., LEE, K. J., VAN LEEU-

- WEN, J., MARGUERON, J., OERTEL, M., POSSENTI, A., RANSOM, S., THEUREAU, G. and TORNE, P., 2014. A Cosmic Census of Radio Pulsars with the SKA. In: *Advancing Astrophysics with the Square Kilometre Array (AASKA14): Proc. Conf. Giardini Naxos, Italy, 9-13 June 2014*, id. PoS(AASKA14)040.
15. McLAUGHLIN, M. A., LYNE, A. G., LORIMER, D. R., KRAMER, M., FAULKNER, A. J., MANCHESTER, R. N., CORDES, J. M., CAMILO, F., POSSENTI, A., STAIRS, I. H., HOBBS, G., D'AMICO, N., BURGAY, M. and O'BRIEN, J. T., 2006. Transient radio bursts from rotating neutron stars. *Nature*. vol. 439, no. 7078, pp. 817–820. DOI: 10.1038/nature04440
16. TAYLOR, G. B., STOVALL, K., McCRACKAN, M., McLAUGHLIN, M. A., MILLER, R., KARAKO-ARGAMAN, C., DOWELL, J. and SCHINZEL, F. K., 2016. Observations of Rotating Radio Transients with the First Station of the Long Wavelength Array. *Astrophys. J.* vol. 831, is. 2, id. 140. DOI: 10.3847/0004-637X/831/2/140
17. STAPPERS, B. W., HESSELS, J. W. T., ALEXOV, A., ANDERSON, K., COENEN, T., HASSALL, T., KARASTERGIU, A., KONDRATIEV, V. I., KRAMER, M., VAN LEEUWEN, J., MOL, J. D., NOUTSOS, A., ROMEIN, J. W., WELTEVREDE, P., FENDER, R., WIJERS, R. A. M. J., BÄHREN, L., BELL, M. E., BRODERICK, J., DAW, E. J., DHILLON, V. S., EISLÖFFEL, J., FALCKE, H., GRIESSMEIER, J., LAW, C., MARKOFF, S., MILLER-JONES, J. C. A., SCHEERS, B., SPREEUW, H., SWINBANK, J., TER VEEN, S., WISE, M. W., WUCKNITZ, O., ZARKA, P., ANDERSON, J., ASGEKAR, A., AVRUCH, I. M., BECK, R., BENNEMA, P., BENTUM, M. J., BEST, P., BREGMAN, J., BRENTJENS, M., VAN DE BRINK, R. H., BROEKEMA, P. C., BROUW, W. N., BRÜGGEN, M., DE BRUYN, A. G., BUTCHER, H. R., CIARDI, B., CONWAY, J., DETTMAR, R.-J., VAN DUIN, A., VAN ENST, J., GARRETT, M., GERBERS, M., GRIT, T., GUNST, A., VAN HAARLEM, M. P., HAMAKER, J. P., HEALD, G., HOEFT, M., HOLTIES, H., HORNEFFER, A., KOOPMANS, L. V. E., KUPER, G., LOOSE, M., MAAT, P., MCKAY-BUKOWSKI, D., MCKEAN, J. P., MILEY, G., MORGANTI, R., NIJBOER, R., NOORDAM, J. E., NORDEN, M., OLOFSSON, H., PANDEY-POMMIER, M., POLATIDIS, A., REICH, W., RÖTTGERING, H., SCHOENMAKERS, A., SLUMAN, J., SMIRNOV, O., STEINMETZ, M., STERKS, C. G. M., TAGGER, M., TANG, Y., VERMEULEN, R., VERMAAS, N., VOGT, C., DE VOS, M., WIJNHOLDS, S. J., YATAWATTA, S. and ZENSUS, A., 2011. Observing pulsars and fast transients with LOFAR. *Astron. Astrophys.* vol. 530, id. A80. doi: 10.1051/0004-6361/201116681
18. POPOV, M. V., KUZ'MIN, A. D., UL'YANOV, O. M., DESHPANDE, A. A., ERSHOV, A. A., ZAKHARENKO, V. V., KONDRAT'EV, V. I., KOSTYUK, S. V., LOSOVSKI, B. Y. and SOGLASNOV, V. A., 2006. Instantaneous radio spectra of giant pulses from the crab pulsar from decimeter to decameter wavelengths. *Astron. Rep.* vol. 50, is. 7, pp. 562–568. DOI: 10.1134/S1063772906070067
19. 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+10 and B1133+16 in the Decameter Wavelengths. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 11, no. 2, pp. 113–133 (in Russian)
20. KONOVALENKO, A. A., YERIN, S. N., BUBNOV, I. N., TOKARSKY, P. L., ZAKHARENKO, V. V., ULYANOV, O. M., SIDORCHUK, M. A., STEPIN, S. V., GRIDIN, A. A., KVASOV, G. V., KOLIADIN, V. L., MELNIK, V. M., DOROVSKYY, V. V., KALINICHENKO, N. N., LITVINENKO, G. V., ZARKA, P., DENIS, L., GIRARD, J., RUCKER, H. O., PANCHENKO, M., STANISLAVSKY, A. A., KHRISTENKO, 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).
21. 2017. SQUARE KILOMETER ARRAY [online]. [viewed 9 February 2017]. Available from: <http://astronomers.skatelescope.org>
22. ZARKA, P., TAGGER, M., DENIS, L., GIRARD, J. N., KONOVALENKO, A., ATEMKENG, M., ARNAUD, M., AZARIAN, S., BARSUGLIA, M., BONAFEDE, A., BOONE, F., BOSMA, A., BOYER, R., BRANCHESI, M., BRIAND, C., CECCONI, B., CÉLESTIN, S., CHARRIER, D., CHASSANDE-MOTTIN, E., COFFRE, A., COGNARD, I., COMBES, F., CORBEL, S., COURTE, C., DABBECH, A., DAIBOO, S., DALLIER, R., DUMEZVIOU, C., KORSO, M. N. E., FALGARONE, E., FALKOVYCH, I., FERRARI, A., FERRARI, C., FERRIÈRE, K., FEVOTTE, C., FIALKOV, A., FULLEKRUG, M., GÉRARD, E., GRIEBMEIER, J.-M., GUIDERDONI, B., GUILLEMOT, L., HESSELS, J., KOOPMANS, L., KONDRATIEV, V., LAMY, L., LANZ, T., LARZABAL, P., LEHNERT, M., LEVRIER, F., LOH, A., MACARIO, G., MAINTOUX, J. J., MARTIN, L., MARY, D., MASSON, S., MIVILLE-DESCHENES, M. A., OBEROI, D., PANCHENKO, M., PANDEY-POMMIER, M., PETITTEAU, A., PINÇON, J. L., REVENU, B., RIBLE, F., RICHARD, C., RUCKER, H. O., SALOMÉ, P., SEMELIN, B., SERYLAK, M., SMIRNOV, O., STAPPERS, B., TAFFOUREAU, C., TASSE, C., THEUREAU, G., TOKARSKY, P., TORCHINSKY, S., ULYANOV, O., VAN DRIEL, W., VASYLIEVA, I., VAUBAILLON, J., VAZZA, F., VERGANI, S., WAS, M., WEBER, R. and ZAKHARENKO, V., 2015. NenuFAR: Instrument description and science case. In: *International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT): Proc. conf. Kharkiv, Ukraine*, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICATT.2015.7136773
23. TAYLOR, G. B., ELLINGSON, S. W., KASSIM, N. E., CRAIG, J., DOWELL, J., WOLFE, C. N., HARTMAN, J., BERNARDI, G., CLARKE, T., COHEN, A., DALAL, N. P., ERICKSON, W. C., HICKS, B., GREENHILL, L. J., JACOBY, B., LANE, W., LAZIO, J., MITCHELL, D., NAVARRO, R., ORD, S. M., PIHLSTRÖM, Y., POLI-

SENSKY, E., RAY, P. S., RICKARD, L. J., SCHINZEL, F. K., SCHMITT, H., SIGMAN, E., SORIANO, M., STEWART, K. P., STOVALL, K., TREMBLAY, S., WANG, D., WEILER, K. W., WHITE, S. and WOOD, D. L., 2012. First Light for the First Station of the Long Wavelength Array. *J. Astron. Instrum.* vol. 1, no. 1, id. 1250004. DOI: 10.1142/S2251171712500043

V. V. Zakharenko, I. P. Kravtsov, and I. Y. Vasylieva

Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine,
4, Mystetstv St., Kharkiv, 61002, Ukraine

DECAMETER PULSAR/TRANSIENT SURVEY OF NORTHERN SKY. PARAMETERS OF INDIVIDUAL PULSES

Purpose: Studying individual burst characteristics recorded by the UTR-2 radio telescope during the Decameter pulsar/transient survey of northern sky, based on the analysis of 70 % of primary data.

Design/methodology/approach: Individual pulses, extracted from observation data by the RFI mitigation routines, are analyzed for the presence of cosmic radio source properties.

Findings: Analysis of parameter distributions such as the local time of individual pulse detection (due to RFI conditions) and the dispersion measure of recorded pulses suggests that most of the detected signals are generated by cosmic radio sources.

Conclusions: Processing of the remaining 30 % of the data survey is essential, but, apparently, this will not significantly affect the distributions of individual characteristics of signals found in the course of the current survey. However, since the sources of transient signals are extremely difficult to be identified, to make an assertion of the cosmic origin of recorded signals, some additional tests are required to be made.

Key words: survey, transient, RFI, dispersion measure, decameter wavelengths

В. В. Захаренко, І. П. Кравцов, Я. Ю. Васильєва

Радіоастрономічний інститут НАН України,
вул. Мистецтв, 4, м. Харків, 61002, Україна

ДЕКАМЕТРОВИЙ ОГЛЯД ПІВНІЧНОГО НЕБА З МЕТОЮ ПОШУКУ ПУЛЬСАРІВ І ДЖЕРЕЛ ТРАНЗІЄНТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПАРАМЕТРИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ІМПУЛЬСІВ

Предмет і мета роботи: дослідження характеристик індивідуальних сплесків, зареєстрованих у ході виконаного на радіотелескопі УТР-2 декаметрового огляду північного неба з метою пошуку пульсарів і джерел транзійтного випромінювання, виходячи з аналізу 70 % первинних даних.

Методи і методологія: Виділені за допомогою програм очищення радіоастрономічних записів від радіоперешкод штучного та природного походження індивідуальні імпульси аналізуються на наявність властивостей, характерних для космічних джерел радіовипромінювання.

Результати: Аналіз розподілів таких параметрів, як локальний час детектування індивідуальних імпульсів (пов'язано з заводовою обстановкою) та міра дисперсії зареєстрованих імпульсів, дозволяє припустити, що більшість продетектованих сигналів породжуються джерелами космічного радіовипромінювання.

Висновок: Обробка решти 30 % даних огляду необхідна, але, вірогідно, вона не зможе істотно вплинути на отримані в ході поточного огляду розподіли характеристик індивідуальних сигналів. Однак оскільки джерела транзійтних сигналів надзвичайно важко ідентифікувати, для доведення твердження про космічне походження зареєстрованих сигналів потрібно виконати додаткові тести.

Ключові слова: огляд, одиночний імпульс, завада, міра дисперсії, декаметровий діапазон

Статья поступила в редакцию 25.01.2017