

## Спорадическое излучение радиоастрономических источников и его исследование в декаметровом диапазоне

В. В. Захаренко

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

*Статья поступила в редакцию 18 марта 2011 г.*

Спорадическое (транзиентное) излучение – всплески и импульсы с характерной длительностью от часов до секунд и менее – свидетельствует о наличии компактных источников или областей, в которых происходят взрывные или динамические события. Таким образом, транзиентное радиоизлучение позволяет исследовать внутреннюю структуру и природу различных объектов, включая фундаментальные астрофизические аспекты, а эффекты рассеяния и фарадеевского вращения плоскости поляризации – свойства среды, в которой это радиоизлучение распространяется.

Крупнейший в мире декаметровый радиотелескоп УТР-2, оснащенный современной приемной и регистрирующей аппаратурой, позволяет исследовать импульсное и спорадическое излучение широкого спектра галактических и внегалактических источников. Существенными преимуществами УТР-2 является высокая чувствительность и широкополосность (до двух октав), которые позволяют исследовать спектральные характеристики в декаметровом диапазоне. Анализ характерных признаков радиоизлучения известных и предполагаемых классов источников (включая различные типы звезд, экзопланет, спорадического излучения объектов Солнечной системы) является необходимым для готовящегося полного обзора Северного неба с целью поиска пульсаров и транзиентных источников в декаметровом диапазоне. Не менее важно определить ограничения, присущие существующим средствам наблюдения, чтобы сформулировать цели и направления развития нового поколения радиотелескопов, таких, как Гигантский Украинский Радиотелескоп (ГУРТ) и ЛОФАР.

**Ключевые слова:** транзиентное излучение, быстрые вариации, декаметровый диапазон, нейтронные звезды, экзопланеты

### 1. Введение

Исследования космического радиоизлучения источников на коротких временных масштабах являются одним из важнейших направлений современной астрономии. К созданию средств наблюдения с временным разрешением порядка микросекунд стремятся на всех длинах волн. Причиной этого является то обстоятельство, что транзиентное и спорадическое излучение порождается в компактных областях и связано с чрезвычайно интересными и важными взрывными или динамическими событиями, предоставляющими уникальные возможности для исследования фундаменталь-

ных аспектов астрофизики. Кроме того, радиоисточники с короткой длительностью переходных процессов являются мощным инструментом исследования межзвездной среды благодаря эффектам дисперсии и рассеяния, а также магнитных полей вследствие эффекта Фарадея. Изучение транзиентных короткопериодических событий, вероятно, внесет заметный вклад в развитие теории сильного гравитационного поля, ядерной физики, астрофизики, космологии, звездообразования и т. п.

Необходимо отметить, что при этом существенно вырастают требования к средствам наблюдения. Во-первых, из-за минимальных возможностей накопления сигнала во времени

эффективная площадь телескопов должна быть как можно большей. Кроме того, размер объектов (произведение скорости света на характерный временной масштаб наблюдаемых вариаций) накладывает фундаментальные ограничения на максимум выделяемой энергии в излучающей области, что также приводит к необходимости повышения чувствительности для увеличения количества наблюдаемых объектов и их классов. Во-вторых, для компенсации эффекта распространения – диспергирования (“размытия”) транзитного сигнала в среде – необходимо как можно более высокое частотное разрешение. Это требование играет особенно большую роль в низкочастотном диапазоне. В-третьих, определение пространственного положения источников транзитного излучения требует высокого углового разрешения, а целесообразность одновременного наблюдения многих источников – большого поля зрения телескопа.

Существуют и другие специфические требования, которые следует упомянуть. Необходимость сохранения высокого временного, частотного и пространственного разрешения требует увеличения на порядки скорости записи, передачи, обработки и объема хранения данных. Следует отметить еще один важный фактор, играющий большую роль на всех частотах наблюдений: радиопомехи имеют широчайший диапазон мощностей и временных вариаций. Необходимость выделения на их фоне действительно радиоастрономических сигналов требует применения высоколинейных аналоговых схем и серьезных затрат вычислительных мощностей для последующей фильтрации. Методом выделения полезных сигналов на фоне помех является также проведение наблюдений на различных пространственно разнесенных телескопах. Локальные помехи по-разному отображаются в различных пунктах наблюдений, что позволяет достаточно уверенно их подавлять. Однако и при этом преодоление влияния ионосферы, совместная калибровка и обработка данных представляют серьезную научную задачу.

Структура изложения настоящей статьи следующая. Во втором разделе приведен краткий обзор имеющихся и предполагаемых классов источников транзитного излучения, в третьем – особенности их наблюдений в низкочастотном диапазоне. В четвертом разделе сформулирована концепция декаметрового об-

зора Северного неба, пульсаров и транзиентов, и приведены необходимые требования для выполнения этой работы.

## 2. Типы источников транзитного излучения

Поиски радиотранзиентов имеют длинную историю, и известно много их видов, начиная от ближайших (космические лучи ультравысоких энергий, сталкивающиеся с земной атмосферой и порождающие ливни вторичных частиц и широкополосное радиоизлучение) до находящихся на космологических расстояниях (гамма-всплески).

Как известно, пульсары были открыты в результате введения в строй радиотелескопа с большой эффективной площадью и аппаратуры с временным разрешением в доли секунд, разработанной для изучения мерцаний квазаров. В этих экспериментах не применялось длительное аналоговое накопление (за счет радиометрического выигрыша, пропорционального квадратному корню произведения значения полосы частот на временную постоянную низкочастотного фильтра), которое повышает чувствительность, но подавляет быстрые временные вариации. Это является примером того, как совершенствование аппаратуры привело к открытию новых классов объектов, которое в свою очередь позволило существенно продвинуться в исследовании фундаментальных свойств материи, строения излучающих объектов и в изучении свойств среды распространения.

В этом разделе проводится обзор широкого спектра известных и предполагаемых транзитных радиоисточников, которые могут быть обнаружены и исследованы новым поколением радиотелескопов. Подобные обзоры [1] проводятся при проектировании и постановке научных задач для таких масштабных проектов, как SKA (Square Kilometer Array) и LOFAR (Low Frequency ARray). Не менее важно определить ограничения, присущие существующим инструментам, таким, как крупнейший радиотелескоп декаметрового диапазона УТР-2 и система интерферометров УРАН, с целью обозначить направления развития нового поколения радиотелескопов, каким является строящийся Гигантский Украинский Радиотелескоп (ГУРТ).

### 2.1. Солнечная система

Радиоизлучение объектов Солнечной системы в декаметровом и метровом диапазонах благодаря их близости к Земле и характерным особенностям спектров нетеплового излучения, особенно самого Солнца и Юпитера со спутником Ио, является самым интенсивным и подробно исследованным.

**Солнце.** Выделенные на начальных этапах исследования Солнца типы вспышек (I–V типы, дрейфующие пары, лямбда-всплески, страи и т. д.) при увеличении чувствительности, широкополосности, временного и частотного разрешения дополняются все новыми разновидностями.

**Юпитер, система Юпитер–Ио.** Собственное радиоизлучение Юпитера и спорадическое Ио-контролируемое излучение с характерными временными масштабами от секунд до микро-секунд представляет самостоятельный интерес. Кроме того, Юпитер и система Юпитер–Ио является примером возможных планетных систем у других звезд, которые могут быть источниками радиоизлучения по аналогии с планетами Солнечной системы [2-4].

**Грозовая активность планет.** Открытие космическими аппаратами (КА) “Вояджер” импульсного широкополосного радиоизлучения в диапазоне от 1 до 40 МГц, порожденного грозовыми разрядами на Сатурне (Saturn Electrostatic Discharges – SED) и Уране (Uranus Electrostatic Discharges – UED), получило дальнейшее развитие в исследованиях КА “Кассини” и с помощью наземных средств наблюдения, таких, как УТР-2. Это не только демонстрирует потенциал наземной радиоастрономии, но и дает серьезные предпосылки к возможному обнаружению подобных явлений на Юпитере и Венере. Обнаружение такого радиоизлучения даст ключ к изучению ионосферы, атмосферы и исследованию характеристик планет.

### 2.2. Экзопланеты. Радиоизлучение планет с магнитным полем

Все планеты с сильным магнитным полем (Земля, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) излучают в радиодиапазоне. Примером могут служить радиоизлучение Юпитера или километровое радиоизлучение Сатурна. По-видимому, некоторые из известных экзопланет также имеют сильное магнитное поле [5] и могут порождать транзитное радиоизлучение. Ниже будут упо-

мянуты теоретические модели, которые могут объяснить возможное излучение экзопланет. Следует отметить, что первые экзопланеты были обнаружены во время проведения исследований, связанных с таймингом пульсара PSR B1257+12. Предполагается, что по аналогии с планетами Солнечной системы известные экзопланеты будут излучать в диапазоне  $1 \div 1000$  МГц с плотностью потока  $10 \div 100$  мкЯн [1]. Обнаружение радиоизлучения от экзопланет будет непосредственным обнаружением в отличие от косвенного открытия большинства известных на сегодняшний день экзопланет по наблюдениям смещения звезды, вращающейся с данной планетой вокруг общего центра масс, затмений или гравитационного линзирования.

### 2.3. Звезды

В настоящее время ведется интенсивный поиск и исследование вспышечной активности различных типов звезд, таких, как красные, коричневые и белые карлики. На низких частотах ожидаются потоки до нескольких десятков янских. В качестве источника энергии вспышек предполагается магнитная активность звезд. Вспышки радиоизлучения от различных активных вспыхивающих звезд и звездных систем наблюдаются в широком диапазоне частот [6-8]. Эти вспышки объясняются ускорением частиц под действием магнитного поля.

### 2.4. Нейтронные звезды (НЗ)

После открытия пульсаров и обнаружения большого их числа некоторое время представлялось, что эволюция нейтронных звезд идет по достаточно сходному сценарию. Пульсар в Крабовидной туманности служил эталоном, а другие типы пульсаров были иллюстрацией пребывания НЗ на различных этапах развития. Однако открытия магнетаров [9], вращающихся радиотранзиентов (Rotating Radio Transient – RRAT) [10], рентгеновских радиотихих одиночных НЗ (X-ray Dim Isolated Neutron Stars – XDINS) [11], пульсаров “на полставки” [12], аномальных рентгеновских пульсаров, гамма-всплесков и связи радио пульсаров с рентгеновскими [13] выявили широкий спектр возможных путей эволюции НЗ и, соответственно, их наблюдательных проявлений.

**Гигантские импульсы (ГИ) пульсаров.** Хотя для всех пульсаров характерны вариации интенсивности от импульса к импульсу [14], у некото-

рых пульсаров были обнаружены так называемые “гигантские” импульсы, импульсы с интенсивностями в 100, 1000 и более раз превышающими среднюю интенсивность. Пульсар в Крабовидной туманности (PSR B0531+21) был первым пульсаром, обнаруживающим данное явление. В последнее время у пульсара в Крабе были зарегистрированы импульсы с плотностью потока  $> 10^6$  Ян и длительностью всего 0.4 нс на частотах  $6 \div 10$  ГГц [15, 16]. Эти “нано-гигантские” импульсы соответствуют яркостной температуре  $10^{41}$  К и на сегодняшний день являются наиболее мощными среди всплесков известных астрономических объектов. На протяжении многих лет это явление считалось уникальной характеристикой Краба. Однако с тех пор гигантские импульсы были обнаружены у более чем десяти пульсаров Галактики и крабоподобных пульсаров в Большом Магеллановом Облаке [17].

#### ***Аномально интенсивные импульсы (АИИ).***

Это явление, открытое в декаметровом диапазоне, [18] имеет много общего с ГИ: интенсивность АИИ превышает интенсивность “обычных” импульсов в десятки и сотни раз, зависимость энергии АИИ от вероятности их появления носит степенной характер. Но существуют и некоторые характерные черты, которые не позволяют спутать их с ГИ. Например, энергия, выделяемая в ГИ, составляет доли процентов от энергии, излучаемой в “обычных” импульсах, а АИИ могут содержать около половины полной излучаемой пульсаром энергии в декаметровом диапазоне.

***RRAT, транзитное излучение НЗ.*** Источники повторяющегося гамма излучения (SGR), аномальные рентгеновские пульсары (AXP) имеют очень много общего. Спектр радиоизлучения некоторых из них [19] может простирается от десятков мегагерц до сотен гигагерц. Транзитные всплески от RRAT [10] были обнаружены как одиночные импульсы (стандартные фурье-алгоритмы не показывали наличия периодичности), и лишь после детального исследования были выявлены периоды вращения НЗ, порождающих это излучение. Для RRAT J1911+00, например, характерный период повторения составляет около 3 ч. Имеются противоречивые данные о наличии RRAT-подобного излучения у XDINS [20, 21]. Пульсары с переключением режимов из “ON” (радиоизлучение присутствует) в “OFF” (радиоизлучение отсутствует) и обратно [12] (пульсары

“на полставки”) также дают основания ожидать различные транзитные проявления в радиоизлучении “обычных” радиопульсаров. Недавно открытая [13] “генетическая” связь между рентгеновским пульсаром и радиопульсаром, перешедшим из первого состояния во второе за считанные годы, показывает возможность появления нового типа транзитного или повторяющегося излучения у известного объекта. Возможно, что “переключение” типов излучения происходило неоднократно или периодически, что связано с наличием аккрецирующего вещества.

#### ***2.5. Другие источники транзитного радиоизлучения***

Учитывая не только наблюдения в низкочастотном диапазоне, но и широкие возможности совместных наблюдений в различных диапазонах частот, следует упомянуть и другие источники транзитного радиоизлучения. Применительно к сантиметровому и другим высокочастотным диапазонам в работе [1] дан их анализ.

***Рентгеновские двойные звезды.*** Мощные всплески радиоизлучения с пиковой плотностью потока излучения во время выброса, в  $10 \div 100$  раз превышающей поток излучения в состоянии покоя, уже давно наблюдаются у рентгеновских двойных звезд, таких, как Лебедь X-3 [22, 23].

***Мазерные всплески.*** Излучение от мазеров ОН может изменяться на временных масштабах порядка сотен секунд и детектироваться как длительные всплески радиоизлучения [24].

***Активные ядра галактик.*** Всплески от активных ядер галактик (AGN), вызванные, вероятно, распространением ударных волн в релятивистских джетах, наблюдаются на миллиметровых и сантиметровых волнах [25].

***Космические лучи ультравысоких энергий.*** Интенсивные импульсы короткой длительности ( $\sim 1$  нс) на частотах от нескольких десятков до нескольких сотен мегагерц наблюдаются в результате воздействия частиц ультравысоких энергий на земную атмосферу [26]. Высокоэнергетические нейтрино, воздействующие на лунный реголит, также могут производить широкополосные радиоимпульсы [27].

***Радиоизлучение сверхновых.*** Предполагается возникновение одиночного, мощного, широкополосного, достаточно короткого ( $< 1$  с) радиоимпульса, который должен излучаться в момент взрыва сверхновой [28].

**Гамма-всплески (GRB). Послесвечение.** В работе [29] теоретически было показано, что гамма-всплески должны иметь сопутствующие радиотранзиенты. Они наблюдаются у некоторых GRB [30] в сантиметровом диапазоне.

**Слияние НЗ. Источники гравитационных волн.** Сливающиеся НЗ в двойных системах [31] предположительно могут излучать радиоимпульсы, предшествующие ожидаемым гравитационным волнам.

**Аннигилирующие черные дыры.** Возможно появление радиотранзиентов, связанных с аннигилирующими черными дырами, как это было предложено в [32].

Следует подчеркнуть, что эффекты распространения также влияют на транзитные сигналы, которые в некоторых случаях, вероятно, тесно связаны с излучающими объектами (как в случае мазеров или, может быть, ГИ пульсаров [33]). Кроме того, можно предполагать, что существуют иные классы источников. Их обнаружению будут способствовать проведение полных обзоров Северного и Южного неба с целью определения местоположения источников повторяющегося излучения, а также мониторинговые программы и совместная работа инструментов различных диапазонов длин волн. При этом обсерватории, оснащенные высокочастотными инструментами (от гамма-диапазона до оптического), могут сигнализировать о начале каких-либо быстрых переходных процессов у космических объектов для продолжения наблюдений в низкочастотных областях спектра.

### 3. Особенности наблюдений радиотранзиентов в низкочастотном диапазоне

Поскольку настоящая работа является подготовительной для проведения полного обзора Северного неба в декаметровом диапазоне длин волн с целью поиска пульсаров и транзитных явлений, особый интерес представляют ожидаемые наблюдательные проявления описанных выше источников в этом диапазоне.

#### 3.1. Пульсары

Наиболее изученными среди импульсных источников радиоизлучения являются, безусловно, пульсары. Их исследование в декаметровом

диапазоне ведется уже более 40 лет [34]. В первые годы наблюдений были обнаружены десять пульсаров [35, 36]. В дальнейшем, несмотря на существенное расширение исследований характеристик пульсаров (открытие ГИ пульсара в Крабе на декаметровых волнах [37], открытие явления АИИ [18], исследование поведения субимпульсов [38] и т. п.), количество зарегистрированных пульсаров в этом диапазоне практически не увеличивалось.

Декаметровый диапазон имеет как достоинства, так и недостатки с точки зрения наблюдений пульсаров. К недостаткам можно отнести большое время рассеяния, которое уширяет импульсы настолько, что импульсная последовательность преобразуется в непрерывное излучение с одновременным ослаблением максимумов интенсивности. Следует также упомянуть о дисперсии (которая, однако, легко учитывается при записи сигналов с большим временным и/или частотным разрешением), высокой температуре галактического фона и тяжелой помеховой обстановке.

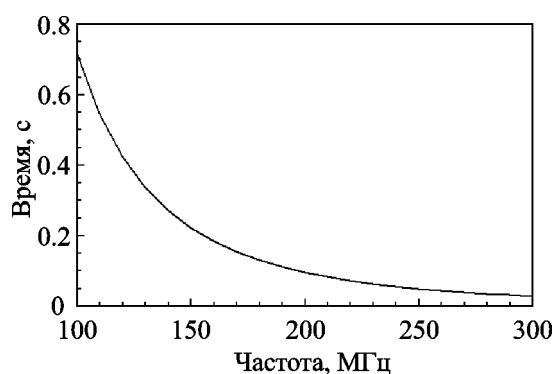
Но при наблюдении пульсаров у данного диапазона есть и заметные преимущества перед высокочастотным. Рост точности определения (с понижением частоты) меры дисперсии (DM) и меры вращения (RM) (квадратичные зависимости), и постоянной времени рассеяния радиоизлучения ( $\sim 4$  степени частоты) дает возможность гораздо точнее определять эти характеристики. Например, ошибка в DM порядка  $0.01 \text{ пк/см}^3$  дает значительный отклик в соотношении сигнал/шум при операции устранения дисперсии. С одной стороны, это позволит уточнить отдельные параметры пульсаров, а с другой, является чувствительным инструментом для анализа вариаций электронной плотности или магнитного поля на луче распространения сигналов. Задача исследования межзвездной среды с помощью наблюдений достаточно интенсивных пульсаров в декаметровом диапазоне представляет самостоятельный интерес.

Высокочастотный диапазон позволяет решать проблемы поиска пульсаров в направлениях большой электронной плотности и, соответственно, меры дисперсии. Так, недавно были обнаружены три пульсара на частоте 6.5 ГГц вблизи центра Галактики [39]. Низкочастотный диапазон предпочтителен для надежного детектирования пульсаров и особенно одиночных транзитных сигналов на фоне широкополос-

ных помех. В полной мере это было использовано в работе по поиску RRAT-подобного излучения XDINS [40]. Трудности выделения импульсов пульсаров с малой  $DM$  и достаточно широким окном главного импульса на фоне широкополосных помех объясняются малостью дисперсионной задержки на высоких частотах. На рис. 1 приведено расчетное время запаздывания сигналов на частотах, разнесенных на 10 МГц, при средней частоте от 100 до 300 МГц для пульсара с  $DM = 10$  пк/см<sup>3</sup>. Если предположить, что ширина импульса по половинной мощности составляет 100 мс, то на частотах выше 200 МГц дисперсионная задержка между каналами по времени будет меньше ширины импульса. Поэтому точный расчет  $DM$  достаточно затруднен.

Для декаметрового диапазона с шириной полосы регистрации порядка октавы расчет показывает, что любой, даже самый близкий по астрономическим меркам одиночный импульс (при наличии субмиллисекундных вариаций) будет надежно отличен от помехи. Это дает уверенность, что любое RRAT-подобное излучение, превышающее порог обнаружения, будет зафиксировано.

Низкочастотный диапазон интересен также и потому, что существуют определенные предпосылки для увеличения числа принципиально детектируемых пульсаров в этом диапазоне. Это связано с уширением импульса собственно пульсаров к низким частотам, большими угла-



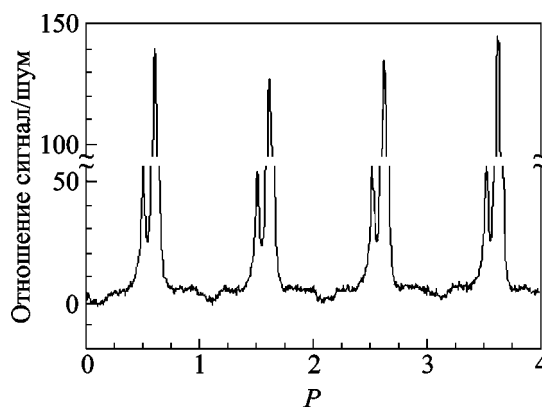
**Рис. 1.** Запаздывание сигналов на частотах, разнесенных на 10 МГц, при средней частоте от 100 до 300 МГц для модельного пульсара с  $DM = 10$  пк/см<sup>3</sup>. При ширине импульса  $\Delta W = 100$  мс на частотах выше 200 МГц дисперсионный сдвиг каналов по времени будет меньше  $\Delta W$

ми рассеяния на низких частотах в среде распространения, появлением широкого низкоинтенсивного “плато” импульса у некоторых пульсаров в низкочастотном диапазоне.

Последнее обстоятельство не является тривиальным и подлежит тщательному изучению. Указания на наличие подобного “плато” были сделаны достаточно давно. Однако модернизация радиотелескопа УТР-2 и установка широкополосного оборудования позволила надежно зарегистрировать широкий подъем интенсивности (величиной до нескольких процентов от максимума главного импульса) в области порядка сотни градусов по долготе вокруг окна главного импульса. На рис. 2 приведен профиль среднего импульса пульсара PSR B0809+74 с учетверенным периодом для иллюстрации наличия широкого “плато” за пределами главного импульса.

Наличие данной особенности отмечено еще у нескольких пульсаров. Если это не является уникальным явлением, то следует ожидать обнаружения в декаметровом диапазоне тех пульсаров, луч которых направлен к наблюдателю так, что обнаружение их на высоких частотах не является возможным. Количество подобных пульсаров может быть заметным, и их детектирование будет зависеть от чувствительности, достигнутой при проведении наблюдений.

Таким образом, в декаметровом диапазоне можно ожидать не только увеличения числа пульсаров, но и, возможно, увеличения перечня



**Рис. 2.** Иллюстрация наличия широкого “плато” за пределами главного импульса: профиль среднего импульса пульсара PSR B0809+74 с учетверенным периодом  $P$

их разновидностей в зависимости как от активности, так и от ширины окна главного импульса.

### 3.2. Экзопланеты

В последнее время число открытых экзопланет стремительно возросло, что показало широкую распространенность планетных систем [41]. Подавляющее большинство экзопланет было обнаружено посредством наблюдения движения звезды вокруг общего центра масс. Этот метод оказался очень успешным. Тем не менее движение звезды из-за гравитационного влияния планеты является косвенным признаком обнаружения планеты. Как следствие, может быть определен единственный параметр планеты – ее масса, но поскольку функция зависимости смещения спектральных линий от массы связана с углом наклона орбиты ( $\sin i$ ), можно определить только минимальное значение массы.

Прямая регистрация отражаемого, поглощаемого или испускаемого излучения позволяет получить дополнительную информацию и более полный набор характеристик планеты. Обнаружение радиоизлучения экзопланет будет прямым обнаружением и сможет дать фундаментальную информацию о планете. Во-первых, измерения радиоизлучения непосредственно показывают величину полярного магнитного поля планеты. Например, высокочастотный обрыв декаметровых всплесков Юпитера ( $\sim 40$  МГц), интерпретируемый как результат наличия у Юпитера магнитного поля определенной величины, позволил оценить ее почти за 20 лет до первого прямого измерения с помощью космических аппаратов. В свою очередь, наличие магнитного поля дает грубую информацию об элементном составе планеты, постольку требует наличия на планете жидкого ядра или другой проводящей жидкости (жидкое железо, металлический водород, и т. п.). Во-вторых, периодический характер радиоизлучения используется для точного определения периода собственного вращения всех газовых гигантов в Солнечной системе, поскольку магнитное поле связано с внутренним строением планеты.

По аналогии с сильно намагниченными планетами Солнечной системы, известными интенсивным нетепловым радиоизлучением с максимумом или значительной частью энергии излучения, лежащими в декаметровом диапазоне, определенные классы экзопланет (так

называемые “горячие Юпитеры”), вероятно, также являются источниками радиоизлучения, причем, по-видимому, гораздо более интенсивного. В настоящее время предпринимаются серьезные усилия по подготовке и проведению наблюдений экзопланет и в области их теоретических исследований.

В [42] проводится сравнение четырех существующих аналитических моделей для всех известных (на 2008 г.) экзопланет при использовании реалистичных значений входных параметров. В кинетической модели мощность звездного ветра в магнитосфере предполагается пропорциональной общей кинетической энергии потока протонов солнечного ветра, бомбардирующих магнитопаузу [2, 43]. Аналогично в магнитной модели мощность звездного ветра в магнитосфере может считаться пропорциональной потоку его магнитной энергии [44, 45]. Исходя из данных, полученных для Солнечной системы, ни одной из этих моделей невозможно отдать предпочтение [3]. Модель CME (Coronal Mass Ejection) является разновидностью кинетической модели.

Для слабонамагниченных планет возможна модель однополярного взаимодействия. В этой модели систему звезда–планета можно рассматривать как гигантский аналог системы Юпитер–Ио [3, 46]. Эта модель очень похожа на магнитную модель, но исходное расположение источника заметно отличается: если в кинетической или магнитной модели излучение генерируется вблизи планеты, то в случае однополярного взаимодействия возникает крупномасштабная система токов, а радиоизлучение генерируется в звездном ветре между звездой и планетой. Таким образом, излучение может исходить от точки вблизи поверхности звезды, вблизи поверхности планеты или от любой точки между ними.

Расчеты показывают, что модель однополярного взаимодействия не обеспечивает наблюдаемого излучения у известных экзопланет. Наибольшие потоки излучения должны наблюдаться в рамках модели преобразования магнитной энергии, меньшие – в модели выбросов корональных масс и модели преобразования кинетической энергии. Теоретические разработки указывают на то, что для большинства планет максимум радиоизлучения или довольно значительная его часть будет располагаться в декаметровом диапазоне. В [42] предпола-

гается, что в зависимости от модели несколько планет, вероятно, можно наблюдать на телескопе УТР-2, и поисковые наблюдения уже ведутся в течение ряда лет.

Как уже отмечалось, в дециметровом диапазоне доступно высокое разрешение по DM, а следовательно, по расстоянию. Это особенно ярко проявляется в возможности отличить земные широкополосные помехи от ближайших по астрономическим меркам сигналов – электростатических разрядов на планетах Солнечной системы. Значение DM при этом составляет  $\sim 10^{-6}$  пк/см<sup>3</sup>. С другой стороны, для наблюдения одиночных транзиентов при использовании режима “waveform” и экспозициях до одного часа на частоте 30 МГц доступно наблюдение источников с  $DM > 1000$  пк/см<sup>3</sup> и постоянной рассеяния  $\tau > 1500$  с [47]. Такие параметры соответствуют расстояниям порядка или более размера Галактики (в зависимости от координат источника). Это означает, что возможно зафиксировать RRAT-подобное излучение большого количества объектов. Различные оценки (в зависимости от чувствительности, достигнутой при обзоре) предполагают возможность детектирования до 20 тыс. объектов подобного типа. Это могут быть как объекты Галактики, так и внегалактические объекты, например, крабоподобные пульсары в ближайших галактиках или скоплениях галактик.

Наблюдение послесвечения GRB также может оказаться результативным, особенно при расширении полосы наблюдений в метровую часть диапазона (при использовании LOFAR и ГУРТ). При росте частоты достижимые расстояния по красному смещению  $z$  возрастут в несколько раз, и предварительные расчеты показывают возможность регистрации сигналов на расстоянии до  $z = 1 \div 2$ .

#### 4. Концепция обзора. Возможности аппаратуры и обработки данных

Определение целей и задач обзора, исходя из существующих возможностей, полученных результатов подобных обзоров и опыта их проведения, является очень важным. Необходимо найти компромисс между полнотой покрытия видимой части неба, достижимой чувствительностью к радиоизлучению, прогнозируемыми результатами и затрачиваемыми ресурсами.

При обзоре полусферы (более 20 тыс. кв. градусов) и времени накопления в луче (примем его равным 0.25 кв. градуса) 1 ч необходимо затратить  $\sim 80000$  ч или около 10 лет непрерывных наблюдений, что исключает телескоп из других научных программ. Поэтому обычная практика наиболее результативных обзоров с покрытием всего или большей части доступного радионеба – использование многолучевых (многогруппорных) антенн и распределение времени в зависимости от ожидаемых результатов [48-51]: в плоскости Галактики – больше, в направлении полюсов – меньше. Многогруппорные антенны установлены в обсерваториях Паркс, Аресибо, Эффельсберг. При достаточном времени, выделенном на задачу обзора, как в случае с радиотелескопом Грин-Бэнк во время ремонта азимутального круга, успешно может быть использован и один луч [52]. Обзор тогда производился в транзитном режиме. Это существенно ограничивало время накопления сигналов (при ширине луча около 35′ оно составляло порядка 135 с). Однако и в этом режиме были открыты десятки пульсаров в Северном небе, что показало существенные пробелы в обзорных наблюдениях. В настоящее время проводится полный обзор неба с помощью телескопов в обсерваториях Паркс и Эффельсберг по одинаковой программе. Накопление сигналов в направлениях на диск Галактики составляет около 20 мин, а вне диска – 1 мин. Учитывая достаточно высокую частоту, на которой проводятся наблюдения (1.4 ГГц), можно утверждать, что близкие источники, распределенные по небу достаточно равномерно и имеющие достаточно спорадический характер излучения, имеют мало шансов быть обнаруженными.

Стратегии поиска транзиентов могут быть различными: от длительного накопления сигналов от определенного источника до быстрого картографирования всего неба. Если источник известен, как в случае поиска радиоизлучения экзопланет или электростатических разрядов на планетах Солнечной системы, то будет использоваться слежение за предполагаемым источником. Напротив, картографирование с малыми экспозициями и высоким угловым разрешением позволяет фиксировать радиотранзиенты в широком поле обзора. Это применимо для поисков мощных источников, например, пос-



лесвечение GRB. Как компромисс может быть использован широкий луч приемной антенны. При этом разрешение по координатам в картинной плоскости будет невысоким. Но DM и характерное время сигнала позволят оценить расстояние до объекта, энерговыделение и, предположительно, природу источника.

Для поиска пульсаров и RRAT сначала осуществляется поиск кандидатов. Уточнение координат и других характеристик будет проводиться при дальнейших наблюдениях.

#### 4.1. Концепция обзора

Основной задачей радиотелескопа УТР-2 было создание каталога источников Северного неба в декаметровом диапазоне. Конфигурация телескопа выбиралась таким образом [53], чтобы достичь достаточно высокого пространственного разрешения. При этом многолучевость (5 лучей антенны “Север–Юг”) была заложена в проект изначально для учета влияния рефракции в ионосфере. Два “ножевых” луча двух антенн могут формировать узкий “карандашный” луч при перемножении. Последнее осуществляется в соответствии с формулой  $(U_1 + U_2)^2 - (U_1 - U_2)^2 = 4U_1U_2$ , а сумма и разность сигналов антенн “Север–Юг” ( $U_1$ ) и “Запад–Восток” ( $U_2$ ) получена с помощью сумма-разностных гибридных устройств.

Проведение наблюдений с помощью суммарного, разностного и перемноженного сигналов двух “ножевых лучей” дает возможность предложить новую концепцию обзора, используя практически полное отсутствие эффекта спутывания для пульсаров и транзиентных сигналов. Отличие предлагаемого сканирующего обзора (использующего вращение Земли) от похожего обзора источников на УТР-2 заключается в использовании суммарного, а не перемноженного луча. Это дает существенный выигрыш во времени проведения наблюдений и второе не менее ценное преимущество: в целях повышения чувствительности используется накопление сигналов во время прохода источника через весь “ножевой” луч антенны “Север–Юг”. Центры пяти лучей радиотелескопа, сдвинутые системой формирования лучей на  $\sim 30'$  с юга на север, находятся в плоскости локального меридиана. Как показывает расчет, модельный источник в диапазоне часовых углов  $\pm 0.5$  ч практически не выходит за пределы диаграммы направленности одного из пяти лу-

чей антенны “Север–Юг”. При выходе такого источника за пределы одного из лучей можно воспользоваться данными соседнего луча, которые синхронизированы между собой. Ширина луча и расстояние между центрами лучей составляет около  $0.5^\circ$ .

Таким образом, происходит накопление сигналов от всех источников с выбранным склонением вплоть до 1 ч. При ширине каждого из 5 лучей около  $30'$  за 24 ч совершается обзор полосы неба шириной  $\sim 2.5^\circ$  по склонению. Диапазон  $-10^\circ \div 90^\circ$  покрывается за  $\sim 40$  сут. Значение  $-10^\circ$  выбрано из условия падения эффективной площади в 2 раза. Координаты источника по прямому восхождению (при условии достаточного значения соотношения сигнал/шум) могут быть восстановлены с помощью разностной или перемноженной диаграммы направленности.

Еще один важный параметр обзора – это временное разрешение. Недостатком декаметрового обзора является большое время рассеяния импульса даже для относительно близких пульсаров, что не позволяет исследовать миллисекундные пульсары. Однако это обстоятельство позволяет существенно сократить количество наблюдательных данных за счет использования большого временного накопления во время наблюдений и ускорить расчеты, поскольку можно применить простую постдетекторную компенсацию дисперсии (вместо додетекторной или когерентной). Временное разрешение обзора (8 мс) выбрано таким образом, что только несколько известных пульсаров имеют на декаметровых волнах меньшее время рассеяния. Следуя этой логике далее, периоды искомых пульсаров будут равны или больше нескольких отсчетов выбранного временного разрешения. Таким образом, периоды пульсаров ограничиваются снизу значениями  $50 \div 100$  мс.

Существенным отличием планируемого обзора будет длительное накопление сигналов для всех направлений наведения радиотелескопа независимо от галактических координат, что осуществляется с помощью совместной обработки данных всех лучей радиотелескопа во временном интервале  $\sim 1$  ч со значительным перекрытием по времени. Это позволит получить одинаковую чувствительность для области ближайшего галактического окружения с радиусом от долей до единиц килопарсек, где источники располагаются практически равномерно. Первоначально планируется исследовать

сигналы с  $DM = 0 \div 30$  пк/см<sup>3</sup> для поиска повторяющегося излучения и  $DM = 0 \div 60$  пк/см<sup>3</sup> для поиска транзиентного излучения с шагом 0.01 пк/см<sup>3</sup>. В дальнейшем диапазон обрабатываемых DM будет расширен.

#### **4.2. Модернизация приемного и регистрирующего оборудования на УТР-2**

Постоянная модернизация приемного и регистрирующего оборудования на УТР-2 позволяет обеспечить практически максимальную чувствительность при имеющейся эффективной площади телескопа. Так модернизация усилительной системы [54] и коммутаторов [55] существенно расширила полосу наблюдений, динамический диапазон и чувствительность радиотелескопа, после чего возможности проведения наблюдений значительно возросли. Постоянная проверка и настройка элементов антенного и усилительного тракта поддерживает минимальные ошибки амплитудно-фазового рельефа, что позволяет получать максимально достижимую в данной конструкции чувствительность. Благодаря быстрому развитию цифровой техники удалось существенно улучшить регистрирующее оборудование. Широкополосные приемники с вычислением спектра в режиме реального времени (fast Fourier transform – FFT-приемники) и приемники с оцифрованной записью полной полосы наблюдений 0 ÷ 33 МГц (waveform – WF-приемники) применялись на УТР-2 начиная с 1999 г. Они существенно модернизировались и последний вариант [56], имеющий 16-битный АЦП с частотой тактирования выше 130 МГц, отвечает практически всем требованиям к широкополосности и помехоустойчивости в условиях загруженного мощными помехами декаметрового диапазона. Синхронизация всех приемников с помощью внешних стандарта и синтезатора позволила проводить наблюдения одного и того же источника несколькими лучами.

#### **4.3. Совместные наблюдения на УТР-2 и ГУРТ**

Чувствительность к транзиентным сигналам может существенно возрасти при совместном использовании УТР-2 и вводимого в строй радиотелескопа метрового и декаметрового диапазонов длин волн ГУРТ [57]. При не очень значительном на первом этапе увеличении площади радиотелескопа для интенсивных транзиентных сигналов значительную роль могут сыграть его широкополосность и несколько иная диаграмма

направленности. Увеличение верхней частоты более чем на октаву (с 32 до 70 МГц) из-за уменьшения времени рассеяния пропорционально 4 степени частоты приводит к тому, что растет доступное временное разрешение при наблюдении как секундных, так и миллисекундных пульсаров. С учетом физических ограничений, накладываемых на угловую скорость вращения НЗ, для такого диапазона становятся доступны все потенциально обнаружимые пульсары. Из-за увеличения широкополосности, в соответствии с упомянутыми выше зависимостями, возрастут и точности в измерении параметров радиоизлучения.

Исходя из особенностей задачи поиска транзиентных источников предпочтительно наращивать площадь в направлении север–юг для формирования одного, а в дальнейшем группы лучей, подобных лучам антенны “Север–Юг” радиотелескопа УТР-2.

#### **4.4. Обработка полученных данных**

Обработка данных возможна как на персональных компьютерах, так и на серверах распределенной системы вычислений. Требуемый для обзора объем дискового пространства составляет ~100 Тб. Предварительные оценки показывают, что конвейерная обработка всех данных с использованием серверов Украинского академического грида будет завершена в течение 1 ÷ 2 лет.

## **5. Выводы**

В работе проведен анализ широкого круга транзиентных сигналов, которые можно наблюдать в низкочастотном диапазоне и совместно с более высокочастотными инструментами. Это необходимо в дальнейшем для обработки результатов наблюдений обзора Северного неба с целью поиска пульсаров и транзиентных сигналов.

Показано, что декаметровый диапазон может дать большой вклад в исследование транзиентных сигналов, так как позволяет получать высокие точности таких параметров, как DM, RM или постоянная времени рассеяния, а также надежно отличать даже ближайšie радиотранзиенты от земных широкополосных помех.

Предложен путь развития низкочастотного радиотелескопа нового поколения ГУРТ для задачи поиска транзиентных источников. Широкополосные измерения позволят повысить точность измерения параметров и отодвинуть

границу максимально достижимого расстояния для наблюдений импульсного и транзиентного излучения галактических и внегалактических источников.

Показано, что наилучшим инструментом для проведения полного обзора Северного неба в декаметровом диапазоне на сегодняшний день является крупнейший, оснащенный современной приемной и регистрирующей аппаратурой, постоянно модернизируемый радиотелескоп УТР-2. Еще большие преимущества можно получить от совместного использования радиотелескопов УТР-2 и ГУРТ для увеличения чувствительности и информативности наблюдений.

Предложена концепция обзора Северного неба с целью поиска пульсаров и транзиентов, существенным отличием которого будет длительное накопление сигналов (до 1 ч) для всех направлений независимо от галактических координат и малое время получения полного однократного набора данных. Это позволит получить одинаковую чувствительность для ближайшего галактического окружения (несколько килопарсек), где источники располагаются практически равномерно.

Проведен анализ существующих возможностей обработки данных и показано, что при условии использования параллельных вычислений, предоставляемых Украинским академическим гридом, возможно провести обработку наблюдательных данных в течение 1–2 лет, что будет способствовать обнаружению новых источников и/или типов транзиентных сигналов.

## Литература

1. Cordes J. M., Joseph T., Lazio W., and McLaughlin M. A. The Dynamic Radio Sky // *New Astron. Rev.* – 2004. – Vol. 48, Nos. 11-12. – P. 1459-1472.
2. Farrell W. M., Desch M. D., and Zarka P. On the possibility of coherent cyclotron emission from extrasolar planets // *J. Geoph. Res.* – 1999. – Vol. 104, No. E6. – P. 14025-14032.
3. Zarka P., Treumann R. A., Ryabov B. P., and Ryabov V. B. Magnetically-Driven Planetary Radio Emissions and Application to Extrasolar Planets // *Astrophys. Space Sci.* – 2001. – Vol. 277, Nos. 1-2. – P. 293-300.
4. Joseph T., Lazio W., Farrell W. M., Dietrick J., Greenlees E., Hogan E., Jones Ch., and Hennig L. A. The Radiometric Bode's Law and Extrasolar Planets // *Astrophys. J.* – 2004. – Vol. 612, No. 1. – P. 511-518.
5. Shkolnik E., Walke G. A. H., and Bohlender D. A. Evidence for Planet-induced Chromospheric Activity on HD 179949 // *Astrophys. J.* – 2003. – Vol. 597, No. 2. – P. 1092-1096.
6. Jackson P. D., Kundu M. R., and Kassim N. Meter-decameter observations of dMe flare stars with the Clark Lake Radio Telescope // *Sol. Phys.* – 1990. – Vol. 130, Nos. 1-2. – P. 391-398.
7. Richards M. T., Waltman E. B., Ghigo F. D., and Richards D. St. P. Statistical Analysis of 5 Year Continuous Radio Flare Data from beta Persei, V711 Tauri, delta Librae, and UX Arietis // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* – 2003. – Vol. 147, No. 2. – P. 337-362.
8. García-Sánchez J., Paredes J. M., and Ribó M. VLA multifrequency observations of RS CVn binaries // *Astron. Astrophys.* – 2003. – Vol. 403, No. 2. – P. 613-624.
9. Camilo F., Ransom S. M., Halpern J. P., Reynolds J., Helfand D. J., Zimmerman N., and Sarkissian J. Transient pulsed radio emission from a magnetar // *Nature.* – 2006. – Vol. 442, No. 7105. – P. 892-895.
10. 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.
11. Voges W., Aschenbach B., Boller Th., Bräuninger H., Briel U., Burkert W., Dennerl K., Enghauser J., Gruber R., Haberl F., Hartner G., Hasinger G., Kürster M., Pfeiffermann E., Pietsch W., Predehl P., Rosso C., Schmitt J. H. M. M., Trümper J., and Zimmermann H. U. The ROSAT all-sky survey bright source catalogue // *Astron. Astrophys.* – 1999. – Vol. 349, No. 1. – P. 389-405.
12. Rea N., Kramer M., Stella L., Jonker P. G., Bassa C. G., Groot P. J., Israel G. L., Méndez M., Possenti A., and Lyne A. On the nature of the intermittent pulsar PSR B1931+24 // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2008. – Vol. 391, No. 2. – P. 663-667.
13. Anne M. Archibald, Ingrid H. Stairs, Scott M. Ransom, Victoria M. Kaspi, Vladislav I. Kondratiev, Duncan R. Lorimer, Maura A. McLaughlin, Jason Boyles, Jason W. T. Hessels, Ryan Lynch, Joeri van Leeuwen, Mallory S. E. Roberts, Frederick Jenet, David J. Champion, Rachel Rosen, Brad N. Barlow, Bart H. Dunlap, and Ronald A. Remillard. A Radio Pulsar/X-ray Binary Link // *Science.* – 2009. – Vol. 324, No. 5933. – P. 1411-1414.
14. Hesse K. H. and Wielebinski R. Pulse intensity variations in pulsar // *Astron. Astrophys.* – 1974. – Vol. 31, No. 1. – P. 409-413.
15. Hankins T. H., Kern J. S., Weatherall J. C., and Eilek J. A. Nanosecond radio bursts from strong plasma turbulence in the Crab pulsar // *Nature.* – 2003. – Vol. 422, No. 6928. – P. 141-143.
16. Hankins T. H. and Eilek J. A. Radio emission signatures in the Crab // *Astrophys. J.* – 2007. – Vol. 670, No. 1. – P. 693-701.

17. Johnston S. and Romani R. W. Giant pulses from PSR B0540-69 in the Large Magellanic Cloud // *Astrophys. J.* – 2003. – Vol. 590, No. 2. – P. L95-L98.
18. Ульянов О. М., Захаренко В. В., Коноваленко А. А., Лекашо А., Розолен К., Рукер Х. О. Обнаружение индивидуальных импульсов пульсаров B0809+74; B0834+06; B0950+08; B0943+10; B1133+16 в декаметровом диапазоне волн // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2006. – Т. 11, №2. – С. 113-133.
19. Camilo F., Ransom S. M., Penalver J., Karastergiou A., van Kerkwijk M. H., Durant M., Halpern J. P., Reynolds J., Thum C., Helfand D. J., Zimmerman N., and Cognard I. The variable radio-to-x-ray spectrum of the magnetar XTE J1810-197 // *Astrophys. J.* – 2007. – Vol. 669, No. 1. – P. 561-569.
20. Malofeev V. M., Malov O. I., and Teplykh D. A. Radio emission from AXP and XDINS // *Astron. Space. Sci.* – 2005. – Vol. 308, Nos. 1-4. – P. 211-216.
21. Kondratiev V. I., McLaughlin M. A., Lorimer D. R., Burgay M., Possenti A., Turolla R., Popov S. B., and Zane S. New limits on radio emission from x-ray dim isolated neutron stars // *Astrophys. J.* – 2009. – Vol. 702, No 1. – P. 692-706.
22. Waltman E. B., Ghigo F. D., Johnston K. J., Foster R. S., Fiedler R. L., and Spencer J. H. The Evolution of Outbursts in Cygnus X-3 at 2.25 and 8.3 GHz // *Astron. J.* – 1995. – Vol. 110, No. 1. – P. 290-299.
23. Fender R. P., Bell Burnell S. J., Waltman E. B., Pooley G. G., Ghigo F. D., and Foster R. S. Cygnus X-3 in outburst: quenched radio emission, radiation losses and variable local opacity // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1997. – Vol. 288, No. 4. – P. 849-858.
24. Cohen R. J. and Brebner G. C. An OH maser outburst in Cepheus A // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1985. – Vol. 216, Sept. 15. – P. 51P-56P.
25. Lainela M. Can shock models explain radio outbursts of active galactic nuclei (AGN) at millimeter and centimeter wavelengths? // *Astron. Astrophys.* – 1994. – Vol. 286, No. 2. – P. 408-414.
26. Falcke H., Apel W. D., Badea A. F., Bähren L., Bekk K., Bercuci A., Bertaina M., Biermann P. L., Blümer J., Bozdog H., Brancus I. M., Buitink S., Brüggemann M., Buchholz P., Butcher H., Chiavassa A., Daumiller K., de Bruyn A. G., de Vos C. M., Di Pierre F., Doll P., Engel R., Gemmeke H., Ghia P. L., Glasstetter R., Grupen C., Haungs A., Heck D., Hörandel J. R., Horneffer A., Huege T., Kampert K.-H., Kant G. W., Klein U., Kolotaev Y., Koopman Y., Krömer O., Kuijpers J., Lafebre S., Maier G., Mathes H. J., Mayer H. J., Milke J., Mitrica B., Morello C., Navarra G., Nehls S., Nigl A., Obenland R., Oehlschläger J., Ostapchenko S., Over S., Pepping H. J., Petcu M., Petrovic J., Plewnia S., Rebel H., Risse A., Roth M., Schieler H., Schoonderbeek G., Sima O., Stümpert M., Toma G., Trinchero G. C., Ulrich H., Valchierotti S., van Buren J., van Cappellen W., Walkowiak W., Weind A., Wijnholds S., Wochele J., Zabierowski J., Zensus J. A., and Zimmermann D. Detection and imaging of atmospheric radio flashes from cosmic ray air showers // *Nature.* – 1996. – Vol. 435, No. 7040. – P. 313-316.
27. Hankins T. H., Ekers R. D., and O'Sullivan J. D. A search for lunar radio Cherenkov emission from high-energy neutrinos // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1996. – Vol. 283, No 3. – P. 1027-1030.
28. Colgate S. A. and Noerdlinger P. D. Coherent Emission from Expanding Supernova Shells // *Astrophys. J.* – 1971. – Vol. 165, No. 2. – P. 509-522.
29. Usov V. V. and Katz J. I. Low frequency radio pulses from gamma-ray bursts? // *Astron. Astrophys.* – 2000. – Vol. 364, No. 1. – P. 655-659.
30. Frail D. A., Kulkarni S. R., Nicastro L., Feroci M., and Taylor G. B. The radio afterglow from the g-ray burst of 8 May 1997 // *Nature.* – 1997. – Vol. 389, No. 6648. – P. 261-263.
31. Hansen B. M. S. and Lyutikov M. Radio and X-ray signatures of merging neutron stars // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2001. – Vol. 322, No. 4. – P. 695-701.
32. Rees M. J. A better way of searching for black-hole explosions? // *Nature.* – 1977. – Vol. 266, No. 5600. – P. 333-334.
33. Petrova S. A. On the origin of giant pulses in radio pulsars // *Astron. Astrophys.* – 2004. – Vol. 424, No. 1. – P. 227-236.
34. Брук Ю. М. Наблюдение радиоизлучения пульсара NP 0532 на частоте 25 МГц // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 1970. – Т.13, №12. – С. 1818-1826.
35. Bruck Yu. M. and Ustimenko B. Yu. Decametric Pulse Radioemission from PSR 0809, PSR 1133, and PSR 1919 // *Nature.* – 1973. – Vol. 242, No. 5392. – P. 58-59.
36. Bruck Yu. M. and Ustimenko B. Yu. Decametric radio emission from four pulsars // *Nature.* – 1976. – Vol. 260, No. 5554. – P. 766-767.
37. 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., Losovskii B. Ya., and Soglasnov V. A. Instantaneous Radio Spectra of Giant Pulses from the Crab Pulsar from Decimeter to Decameter Wavelengths // *Astron. Rep.* – 2006. – Vol. 50, No. 7. – P. 562-568.
38. Ul'yanov O. M., Zakharenko V. V., and Bruck Yu. M. The Parameters of Pulsar Subpulse Emission at Decimeter Wavelengths // *Astron. Rep.* – 2008. – Vol. 52, No. 11. – P. 917-924.
39. Bates S. D., Johnston S., Lorimer D. R., Kramer M., Possenti A., Burgay M., Stappers B., Keith M. J., Lyne A., Bailes M., McLaughlin M. A., O'Brien J. T., and Hobbs G. A 6.5-GHz Multibeam Pulsar Survey // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2011. – Vol. 411, No. 3. – P. 1575-1584.
40. Захаренко В. В., Маркова А. В., Васильева Я. Ю. Поиск импульсного излучения рентгеновских радиотихих одиночных нейтронных звезд в декаметровом диапазоне // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2010. – Т. 15, №3. – С. 263-270.
41. Schneider J. Interactive Extra-solar Planets Catalog. The Extrasolar Planets Encyclopedia / 2010-10-07. – <<http://exoplanet.eu/catalog.php>>.

42. Grießmeier J.-M., Zarka P., and Spreeuw H. Predicting low-frequency radio fluxes of known extrasolar planets // *Astron. Astrophys.* – 2007. – Vol. 475, No. 1. – P. 359-368.
43. Grießmeier J.-M., Motschmann U., Mann G., and Rucker H. O. The influence of stellar wind conditions on the detectability of planetary radio emissions // *Astron. Astrophys.* – 2005. – Vol. 437, No. 2. – P. 717-726.
44. Farrell W. M., Lazio T. J. W., Zarka P., Bastian T. J., Desch M. D., and Ryabov B. P. The radio search for extrasolar planets with LOFAR // *Planet. Space Sci.* – 2004. – Vol. 52, No. 15. – P. 1469-1478.
45. Zarka P. Plasma interactions of exoplanets with their parent star and associated radio emissions // *Planet. Space Sci.* – 2004. – Vol. 55, No. 5. – P. 598-617.
46. Preusse S., Kopp A., Büchner J., and Motschmann U. Stellar wind regimes of close-in extrasolar planets // *Astron. Astrophys.* – 2005. – Vol. 434, No. 3. – P. 1191-1200.
47. Cordes J. M., and Lazio T. J. W. NE2001. I. A new model for the galactic distribution of free electrons and its fluctuations // *astro-ph/0207156* – 2002.
48. Manchester R. N., Lyne A. G., Taylor J. H., Durdin J. M., Large M. I., and Little A. G. The Second Molonglo Pulsar Survey – Discovery of 155 Pulsars // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1978. – Vol. 185, No. 1. – P. 409-421.
49. Manchester R. N., Lyne A. G., D'Amico N., Bailes M., Johnston S., Lorimer D. R., Harrison P. A., Nicastro L., and Bell J. F. The Parkes Southern Pulsar Survey. I. Observing and data analysis systems and initial results // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1996. – Vol. 279, No. 1. – P. 1235-1250.
50. Foster R. S., Cadwell B. J., Wolszczan A., and Anderson S. B. A High Galactic Latitude Pulsar Survey of the Arecibo Sky // *Astrophys. J.* – 1995. – Vol. 454, No. 1. – P. 826-830.
51. Cordes J. M., Freire P. C. C., Lorimer D. R., Camilo F., Champion D. J., Nice D. J., Ramachandran R., Hessels J. W. T., Vlemmings W., van Leeuwen J., Ransom S. M., Bhat N. D. R., Arzoumanian Z., McLaughlin M. A., Kaspi V. M., Kasian L., Deneva J. S., Reid B., Chatterjee S., Han J. L., Backer D. C., Stairs I. H., Deshpande A. A., and Faucher-Giguère C.-A. Arecibo Pulsar Survey Using ALFA. I. Survey Strategy and First Discoveries // *Astrophys. J.* – 2006. – Vol. 637, No. 1. – P. 446-455.
52. GBT 350-MHz Drift Scan Pulsar Survey. – <<http://www.as.wvu.edu/~pulsar/GBTdrift350/>>.
53. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2 // *Антенны.* – М.: Связь. – 1978. – Вып. 26. – С. 3-14.
54. Abranin E. P., Bruck Yu. M., Zakharenko V. V., and Konovalenko A. A. The New Preamplification System for the UTR-2 Radio Telescope. Part 1: Circuit Analysis and Design. Part 2. Implementation and Test Operation // *Exp. Astron.* – 2001. – Vol. 11, No. 2. – P. 85-112.
55. Zakharenko V. V., Sharykin N. K., and Rudavin E. R. Modernization of Commutation Devices and an Improvement of Main Parameters of the UTR-2 Radio Telescope // *Kinem. & Phys. Cel. Bod. Suppl. Ser.* – 2005. – No. 5. – P. 90-92.
56. Kozhin R. V., Vynogradov V. V., and Vavriv D. M. Low-noise, high dynamic range digital receiver/spectrometer for radio astronomy applications // *MSMW'07 Symposium proc.* – Kharkiv (Ukraine). – 2007. – P. 736-738.
57. Коноваленко А. А., Фалькович И. С., Калиниченко Н. Н., Гридин А. А., Бубнов И. Н., Лекашо А., Розолен К., Рукер Х. О. Антенная решетка из активных элементов для радиоастрономии // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2004. – Т. 9, №3. – С. 248-260.

## Спорадичне випромінювання та його дослідження в декаметровому діапазоні

**В. В. Захаренко**

Спорадичне (транзйентне) випромінювання – сплески та імпульси з характерною тривалістю від годин до секунд і менше – свідчить про наявність компактних джерел або областей, в яких відбуваються вибухові або динамічні події. Таким чином, транзйентне радіовипромінювання дозволяє дослідити внутрішню структуру та природу різних об'єктів, включно з фундаментальними астрофізичними аспектами, а ефекти розсіяння і фарадеевського обертання площини поляризації – властивості середовища, в якому це радіовипромінювання поширюється.

Найбільший у світі декаметровий радіотелескоп УТР-2, оснащений сучасною приймальною та реєструючою апаратурою, дозволяє досліджувати імпульсне та спорадичне випромінювання широкого спектру галактичних і позагалактичних джерел. Суттєвими перевагами УТР-2 є висока чутливість і широкосмуговість (до двох октав), що дозволяє досліджувати спектральні характеристики у декаметровому діапазоні. Аналіз характерних ознак радіовипромінювання відомих і очікуваних класів джерел (включно з різними типами зірок, екзопланет, спорадичного випромінювання об'єктів Сонячної системи) є необхідним у підготовці повного огляду Північного неба з метою пошуку пульсарів і транзйентних джерел у декаметровому діапазоні. Не менш важливо визначити обмеження, властиві існуючим засобам спостереження, з метою формулювання цілей і напрямків розвитку нового покоління радіотелескопів, таких, як Гігантський Український Радіотелескоп (ГУРТ) і ЛОФАР.

## **Sporadic Radiation of Radio Astronomy Sources and its Study at Decameter Wavelengths**

**V. V. Zakharenko**

Sporadic (transient) radiation, being bursts and pulses with typical duration from hours to seconds or less, indicate the presence of compact sources or regions where explosive or dynamic events occur. Thus, the transient radio emission allows studying the internal structure and nature of various objects, including the fundamental astrophysical aspects, while the effects of scattering and Faraday rotation of the polarization plane the properties of the medium in which the radio emission is distributed.

The world-largest UTR-2 decameter wavelength radio telescope, equipped with the state-of-the-art receiving and recording equipment, allows investigating the pulsed and transient emissions for a wide range of galactic and extragalactic sources. Substantial advantages of the UTR-2 are its high sensitivity and broadbandness (up to two octaves) that allows investigating the spectral characteristics within the decameter wavelengths. Analysis of the characteristic features of radio emission of known and prospective classes of sources (including different types of stars, extrasolar planets, solar system sporadic radiation) is necessary in preparation for the full survey of the northern sky to search for pulsars and transient sources at decameter wavelengths. It is essentially important to define the limitations of existing means of observations in order to formulate the goals and lines of development of the next-generation radio telescopes such as LOFAR and Giant Ukrainian Radio Telescope (GURT).