



ISSN 1607–2855

Том 7 • № 1 • 2011 С. 34 – 41

УДК 523.9

## Анализ радионаблюдений спокойного Солнца с помощью декаметрового телескопа УТР-2

А.А. Коваль

Институт радиоастрономии НАН Украины, Харьков

*В работе рассматриваются некоторые важные особенности исследования радиоизлучения спокойного Солнца антенной решеткой УТР-2. В этих исследованиях используются два основных метода наблюдений: сканами «на проход» и гелиографом. Обсуждаются способы получения наиболее достоверных результатов.*

*АНАЛІЗ РАДІОСПОСТЕРЕЖЕНЬ СПОКІЙНОГО СОНЦЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕКАМЕТРОВОГО ТЕЛЕСКОПА УТР-2, Коваль А.О. — В роботі розглядаються деякі важливі особливості дослідження радіовипромінювання спокійного Сонця антенною решіткою УТР-2. В цих дослідженнях використовуються два основні методи спостережень: сканами «на прохід» та геліографом. Обговорюються способи отримання найбільш достовірних результатів.*

*ANALYSIS OF QUIET-SUN RADIO OBSERVATIONS USING THE DECAMETRIC TELESCOPE UTR-2, by Koval A.A. — In this work some important features of quiet-Sun radio emission are studied by the antenna array of UTR-2. Here we use two basic methods of observations, by scans and by heliograph. The ways of getting the most reliable results are discussed.*

**Ключевые слова:** спокойное Солнце; декаметровый диапазон длин волн; радиотелескоп УТР-2; гелиограф; преобразование Радона.

**Key words:** quiet Sun; decametric range; radiotelescope UTR-2; heliograph; Radon transformation.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что характер солнечной активности определяется 11-летним циклом [1]. Солнечное радиоизлучение принято разделять на две составляющие: 1) излучение спокойного или невозмущенного Солнца, регистрируемое в периоды отсутствия или слабой активности Солнца; 2) излучение возмущенного Солнца, добавляющееся к первой составляющей, в периоды солнечной активности. Итак, континуальное, фоновое излучение невозмущенного Солнца представляет собой экстремальный (минимальный) уровень вариации спектра спокойного Солнца, который удастся наблюдать лишь в период минимума 11-летнего цикла. Спокойное Солнце часто представляют в виде идеализированного шара, состоящего из горячих газов, со статической, симметричной атмосферой, излучающей энергию термально в широкой полосе частот [2].

Исследования радиоизлучения спокойного Солнца на низких частотах привлекают пристальное внимание многих радиоастрономов и астрофизиков во всем мире на протяжении многих десятилетий [3–13]. В метровом и декаметровом диапазонах длин волн определение плотности потока и распределения яркости невозмущенного Солнца дает полезную информацию о структуре, распределении электронной концентрации и температуре короны. Несмотря на ряд проведенных наблюдений, за прошедшие десятилетия наши знания о спектре излучения спокойного Солнца в его низкочастотной области остаются фрагментарными и ограниченными. Такая ситуация обусловлена несколькими причинами. Для получения диаграммы направленности телескопа с высоким угловым разрешением необходимо создание антенной решетки большой эффективной площади. Кроме того, низкочастотный диапазон «изобилует» многочисленными радиопомехами искусственного и естественного происхождения. К мешающим факторам можно отнести также довольно высокую яркостную температуру галактического фона, которая ограничивает чувствительность радиотелескопа; среду распространения, существенно искажающую сигнал, а также заметное влияние ионосферы. Все перечисленные факторы вызывают заметные трудности на пути исследования радиоизлучения спокойного Солнца в декаметровом диапазоне длин волн [14].

На сегодняшний день в литературе доступно весьма ограниченное число измеренных значений величины плотности потока спокойного Солнца на частотах ниже 30 МГц ( $\lambda = 10$  м). В работе [5] Абель и др. определили интегральные потоки, угловые размеры, а также максимальную яркостную температуру на частотах 29.3 МГц, 36.9 МГц и 60.0 МГц на радиотелескопе Аресибо (Пуэрто-Рико). Абринин и Базелян в середине 1970-х годов провели ряд наблюдений, используя антенную систему УТР-2 в режиме

быстрого сканирования, на частоте 25 МГц. В ходе измерений были оценены полярный и экваториальный диаметр солнечной короны, полный поток и максимальная яркостная температура в направлении центра диска [15]. Полученные результаты показали, что эллиптичность распределения радиояркости на частоте 25 МГц оказывается равной примерно 0.72. Кроме того, цикл наблюдений был осуществлен с помощью Т-образного радиотелескопа на обсерватории Кларк Лейк (США) [16]. На нем проводились измерения на отдельных частотах в полосе 15–125 МГц, но в настоящее время он уже выведен из эксплуатации. В частности, работы [6, 7], выполненные с помощью антенной решетки в Кларк Лейк, посвящены изучению распределения радиояркости солнечной короны, а также анализу спектра спокойного Солнца на отдельных частотах в указанной полосе, включая наблюдения на 19.0 МГц, 25.8 МГц и 26.3 МГц.

Более детальные исследования спектра невозмущенного Солнца выполнены в метровом диапазоне длин волн [5–7, 9–13]. Это объясняется существованием значительно большего арсенала наблюдательных средств (радиоспектрографы, гелиографы и др.) в этом диапазоне [17]. Тем не менее, почти все сессии измерений имеют существенный временной разнос, проводились в течение разных минимумов активности и в различное время в пределах одного 11-летнего солнечного цикла. Так, в работе [18] при наблюдениях на частоте 169 МГц показано, что зарегистрированные величины плотности потока отличаются больше, чем на 100% в периоды минимума и максимума солнечной активности. Подобный характер вариаций можно ожидать и в декаметровом диапазоне длин волн, что может привести к несогласованности между измерениями на разных участках радиоспектра. Кроме того, наблюдения проводятся с использованием различных типов радиоастрономических инструментов и калибровочных устройств. Во многих случаях плотность потока спокойного Солнца определяется из сравнения его с одним (или более) из мощных калибровочных радиисточников: Cas A (Кассиопея), Tau A (Крабовидная туманность), Vir A (Дева) или Cyg A (Лебедь). Однако, лишь несколько калибровочных источников имеют точно определенный спектр на низких частотах. Более того, как будет показано ниже, координаты Солнца и калибровочных источников, как правило, различны, а характеристики антенных систем известны приблизительно, что вызывает дополнительные ошибки в оценке величины плотности потока и трудности в процедуре калибровки.

Цель данной работы — провести анализ возможностей радиотелескопа УТР-2 в исследованиях спокойного Солнца в полосе частот 8.0–33.0 МГц. В следующей главе будут рассмотрены современное состояние антенной системы УТР-2, его основные параметры и характеристики. Последующие два раздела посвящены гелиографическим исследованиям спокойного Солнца с помощью сканирования источника «на проход» (одномерного гелиографа) и двумерного гелиографа, имеющего в составе УТР-2. В заключении будет подведен итог таких исследований и сформулированы задачи на последующие наблюдения.

## **2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАДИОТЕЛЕСКОПА УТР-2 В ИССЛЕДОВАНИЯХ «СПОКОЙНОГО» СОЛНЦА**

Антенная система радиотелескопа УТР-2 (Украинский Т-образный Радиотелескоп) была разработана и запущена в эксплуатацию в начале 1970-х годов. Она позволяет проводить широкий спектр радиоастрономических исследований и астрофизических программ в декаметровом диапазоне длин волн. Радиотелескоп состоит из двух прямоугольных решеток, большая из которых (Север–Юг) вытянута вдоль меридиана и обеспечивает разрешающую способность по склонению, меньшая (Запад–Восток), вытянута вдоль параллели и обеспечивает разрешающую способность по прямому восхождению. Плечи радиотелескопа имеют размеры: 1800 × 60 м и 900 × 60 м. В качестве излучателей применены горизонтальные симметричные широкополосные вибраторы. Антенна Север–Юг состоит из 1440 таких широкополосных вибраторов, образующих шесть ориентированных вдоль меридиана рядов по 240 вибраторов в каждом. Антенна Запад–Восток имеет 600 вибраторов, формирующих шесть ориентированных вдоль параллели рядов по 100 вибраторов в каждом. Фазирование и суммирование сигналов диполей осуществляется с помощью дискретных кабельных линий задержки по двум ортогональным координатам  $U$  и  $V$ . Вследствие этого радиотелескоп имеет дискретный способ управления лучом диаграммы направленности. Кроме того, существует возможность формирования пятилучевого режима диаграммы направленности, который используется в гелиографических наблюдениях солнечной короны. В этом случае образуется пятерка карандашных лучей, распределенных по склонению. На рабочей частоте 25 МГц в зенитном направлении лучи имеют размеры  $25' \times 25'$  ( $t \times \delta$ ) по половинной мощности. Более детально гелиографические особенности антенной системы УТР-2 рассмотрены в работе [19].

В качестве приемно-регистрирующей аппаратуры используется многоканальный (8192 канала) цифровой спектроанализатор DSP (Digital Signal Processor) с высоким временным (от 0.2 мсек до 1 сек) и частотным ( $\sim 4$  кГц) разрешением при динамическом диапазоне более 90 дБ [20]. Следует отметить, что еще в середине 90-х годов наблюдения проводились только вблизи шести фиксированных частот в полосе 10–25 МГц. Это существенно затрудняло идентификацию регистрируемых событий. Возможность

осуществления измерений в непрерывной полосе частот 8–33 МГц появилась после модернизации системы антенного усиления УТР-2 в конце 90-х годов [21]. В связи с этим возникла необходимость развития приемно-регистрающего комплекса. Спектроанализатор DSP представляет собой двухканальный цифровой приемник, структурно состоящий из двух элементов — высокоскоростного аналого-цифрового преобразователя и блока обработки данных, который выполнен с помощью программируемой матрицы FPGA (Field Programmable Gate Array). Проведенные исследования на радиотелескопе УТР-2 после модернизации регистрирующего блока с использованием цифрового спектрального приемника DSP Фурье-анализа реального времени дали значительный объем существенно новых результатов [22, 23].

Описанные характеристики позиционируют антенную систему УТР-2 как уникальный радиоастрономический инструмент с большими потенциальными возможностями, полезными в частности, в исследованиях радиоизлучения спокойного Солнца. На этом мы и сосредоточим наше внимание в дальнейшем.

### 3. РЕГИСТРАЦИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СПОКОЙНОГО СОЛНЦА СКАНАМИ «НА ПРОХОД»

Использование радиотелескопа УТР-2 в качестве одномерного гелиографа является одним из сравнительно простых способов исследований радиоизлучения спокойного Солнца. Такая серия наблюдений была выполнена в период с 4 по 6 сентября 2010 года. Сканирование солнечной короны осуществлялось пятеркой равнонаправленных карандашных лучей диаграммы направленности антенны указанного радиотелескопа. Продолжительность каждого скана составляла 30 минут. Средний (центральный) луч пятерки лучей радиотелескопа ориентировался на Солнце по склонению и отворачивался от него на  $3.75^\circ$  по часовому углу. Вследствие вращения небесной сферы центр каждого скана совпадал с направлением на центр солнечного диска. В результате проведенных измерений было получено более двадцати одномерных 30-минутных солнечных сканов распределения радиояркостности Солнца. На рис. 1 представлен пример временного профиля (скана) по регистрации радиоизлучения во время прохождения солнечной короны (вдоль солнечного экватора) через диаграмму направленности антенны УТР-2 на частоте 27 МГц.

Несмотря на то, что структура распределения радиояркостности небесных источников может быть достаточно сложной, для их анализа часто используется функция Гаусса. В частности, распределение яркости спокойного Солнца можно аппроксимировать такой двумерной функцией, вытянутой вдоль солнечного экватора [15]. На правомерность такого подхода указывает и форма профиля, которая достаточно хорошо аппроксимируется одномерной гауссоидой (см. рис. 1). Двумерная функция Гаусса задается выражением:

$$f(x, y) = A \exp \left[ -\frac{(x - x_0)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y - y_0)^2}{2\sigma_y^2} \right], \quad (1)$$

где  $A$  — максимальная плотность потока излучения (амплитуда);  $x_0, y_0$  — координаты положения максимума излучения (по склонению и часовому углу);  $\sigma_x, \sigma_y$  — ширина гауссоиды по большой и малой осям. Хотя такая модель распределения яркости солнечной короны является идеализированной, она вполне подходит для описания распределения яркости солнечной короны в декаметровом диапазоне. При этом следует помнить, что в метровом-декаметровом диапазоне длин волн наблюдаются суточные вариации полного потока радиоизлучения Солнца и положения его максимума относительно лимба [15, 18, 24]. Поэтому, большая ось двумерной гауссоиды может быть повернута на некоторый угол  $\theta$  относительно ее горизонтального положения. В этом случае общий вид двумерной гауссоиды можно выразить следующим образом

$$f(x, y) = A \exp [-a(x - x_0)^2 - b(x - x_0)(y - y_0) - c(y - y_0)^2], \quad (2)$$

$$a = \frac{\cos^2 \theta}{2\sigma_x^2} + \frac{\sin^2 \theta}{2\sigma_y^2}, \quad b = -\frac{\sin 2\theta}{\sigma_x^2} + \frac{\sin 2\theta}{\sigma_y^2}, \quad c = \frac{\sin^2 \theta}{2\sigma_x^2} + \frac{\cos^2 \theta}{2\sigma_y^2}, \quad (3)$$

где  $a, b, c$  — коэффициенты, учитывающие поворот гауссоиды на угол  $\theta$ .

Сравнительно простой вид функции распределения яркости допускает возможность полного восстановления ее двумерного изображения по ограниченному числу одномерных сканов. На сегодняшний день в различных областях науки и техники используются методы реконструкции (восстановления) многомерных функций по их интегральным профилям. Теоретические основы таких исследований были заложены еще в начале XX века австрийским математиком И.Радоном [25]. Однако, их реализация потребовало внедрение технических изобретений и развития различных инноваций. Так с появлением рентгеновских установок, которые давали возможность получать большое количество качественных рентгенограмм, и ЭВМ, способных эти снимки обрабатывать, данные методы начали реально использоваться на практике.

В радиоастрономии такие методы первым применил и использовал Р.Брейсуэлл [26]. Он показал, как восстановить истинную картину распределения яркости космического радиоисточника с помощью сканирования его узким лучом диаграммы направленности радиотелескопа под разными углами прохождения через источник по небесной сфере. С помощью конечного числа одномерных сканов такой подход позволяет найти двумерное распределение яркости радиоисточника. Следует упомянуть, что сравнительно

но недавно группа французских астрофизиков использовала данные измерений космического аппарата SOHO, на борту которого находится система регистрации изображений Солнца в ультрафиолетовой области спектра, для томографирования нижней короны Солнца ( $< 1.5R_{\odot}$ ). Это позволило оценить электронную плотность и температуру корональных дыр [27].

Кратко рассмотрим возможную процедуру получения двумерных радиоизображений солнечной короны с помощью одномерного гелиографа УТР-2. На первом шаге необходимо получить проекционные данные. Для этого проводится сканирование короны узким лучом или несколькими параллельными лучами диаграммы направленности под разными углами относительно осей выбранной системы координат. Связь между первоначальной  $(x, y)$  и повернутой  $(x', y')$  на угол  $\phi$  системами координат можно представить соотношениями:

$$x = x' \cos \phi - y' \sin \phi \quad y = x' \sin \phi + y' \cos \phi. \quad (4)$$

Прямое преобразование Радона (ППР) записывается в виде

$$R(s, \phi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(s \cos \phi - y' \sin \phi, s \sin \phi + y' \cos \phi) dy', \quad (5)$$

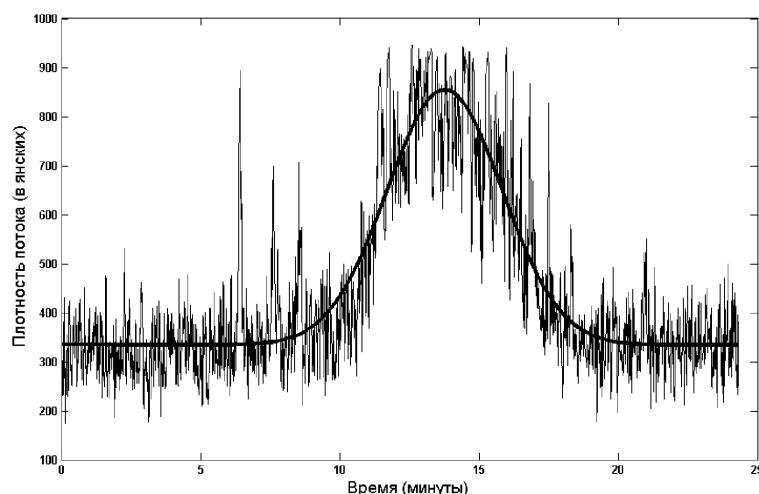
где величина  $s$  в повернутой системе координат определяет расстояние от ее начала до сканирующего луча диаграммы направленности. Полагая, что распределения яркости короны Солнца описывается двумерной функцией Гаусса (2) и применяя ППР (5), получаем ряд радоновских профилей для разных углов  $\phi$ :

$$R(s, \phi) = A \sqrt{\frac{\pi}{a \sin^2 \phi - b \sin \phi \cos \phi + c \cos^2 \phi}} \exp\left(-\frac{(ac - b^2/4)s^2}{a \sin^2 \phi - b \sin \phi \cos \phi + c \cos^2 \phi}\right). \quad (6)$$

Второй шаг такой процедуры предполагает при достаточном количестве полученных проекций, найденных для различных углов сканирования, посредством обратного преобразования Радона восстановление истинного двумерного распределения яркости солнечной короны. Очевидно, что погрешности реконструкции исходной картины распределения интенсивности будут меньше, чем большее число одномерных сканов используется в данной процедуре. Следует также отметить возможность полного восстановления изображения спокойного Солнца по двум сканам под разными углами сканирования с небольшой потерей мелкомасштабной детализации солнечной короны. Использование описанной методики для получения двумерного распределения яркости короны Солнца в декаметровом диапазоне длин волн представляет несомненный интерес, а данная техника восстановления изображений будет применена в дальнейших исследованиях в режиме сканирования солнечной короны одномерными сканами «на проход».

#### 4. ГЕЛИОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ «СПОКОЙНОГО» СОЛНЦА

Двумерный гелиограф на основе радиотелескопа УТР-2 был создан в середине 1970-х годов совместно сотрудниками Института радиофизики и электроники (Харьков) и Научно-исследовательского радиофизического института (Нижний Новгород) [28]. Наблюдения периодически проводились до конца 1990-х годов, после которого последовал почти десятилетний перерыв гелиографических исследований. За время использования гелиографа был опубликован ряд важных работ по изучению солнечных радиовсплесков IIIд типа с эхо-компонентами [29–32]. Затем гелиограф был существенно модернизирован.



**Рис. 1.** Пример одномерного профиля, измеренного вдоль солнечного экватора на частоте 27 МГц (05.09.2010). Начало временного отсчета соответствует 09:01:59 UT. Сплошной линией показана аппроксимация данного профиля одномерной функцией Гаусса.

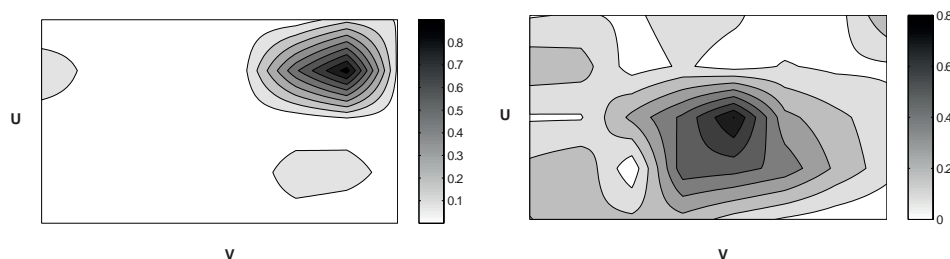
**Таблица 1.** Наблюдавшиеся космические радиоисточники

Номер источника	Прямое восхождение (h m s)	Склонение (d m s)	Плотность потока, $\text{Ян} \times 10^3$	Обнаружение
3C84	03 19 48	+41 31.1	1.05	+
3C123	04 37 05	+29 40.3	1.1	+
3C134	05 04 42	+38 05.3	0.57	+
3C144	05 34 31	+22 00.4	3.42	+
3C234	10 01 49	+28 47.1	0.18 (26.3 МГц)	-
3C274	12 30 50	+12 23.5	5.3	+
3C292	13 50 42	+64 29.5	0.04 (38.0 МГц)	-
3C348	16 51 08	+04 58.8	2.3	+
3C353	17 20 31	-01 00.0	1.15	-
3C405	19 59 29	+40 44.3	31.5	+
3C461	23 23 26	+58 49.6	58.0	+

В 2009–2010 г. после длительной паузы в наблюдениях этот инструмент вновь стал регулярно применяться в солнечных наблюдениях уже на новой аппаратной основе [19, 33, 34]. Эта сессия гелиографических измерений была в основном направлена на мониторинг радиоизлучения спокойного Солнца, а также включала тестовые наблюдения целого ряда радиоисточников, приведенных в табл. 1. Экваториальные координаты источников приведены на эпоху J2000, а величины плотности потока — на частоте 25 МГц (за исключением 3C234 и 3C292), получены из различных радиоастрономических обзоров (см. [nedwww.ipac.caltech.edu](http://nedwww.ipac.caltech.edu)). Все эти космические источники радиоизлучения являются точечными для гелиографа УТР-2 и служат своеобразной шкалой, по которой можно оценить плотность потока невозмущенного Солнца, проверить корректную работу гелиографа и определить его чувствительность. В последнем пункте «Обнаружение» табл. 1 отмечены те источники, которые уверенно обнаруживались по одному частотному каналу в 4 кГц с временным разрешением 100 мсек без проведения дополнительной процедуры накопления сигнала. Исключение составляет лишь источник 3C353 с плотностью потока порядка  $10^3$  Ян, зарегистрировать который не удалось. Можно предположить, что это является простым следствием относительного низкого положения источника на небесной сфере по склонению (см. табл. 1) для настоящего телескопа и как следствие, в силу малой эффективной площади антенны. В работе [15] установлено, что плотность потока спокойного Солнца на частоте 25 МГц составляет в среднем 917 Ян, что сравнимо с величинами потоков объектов 3C84, 3C123, 3C353.

На рис. 2 приведены примеры гелиограмм солнечной короны и радиоисточника 3C123 на частоте 21.0 МГц. Кадр гелиографа состоит из 40 элементов матричного изображения. Пять лучей диаграммы направленности, распределенных по склонению, занимают восемь дискретных последовательных положений по прямому восхождению. Конструктивно гелиограф выполнен с помощью включения в штатную систему фазирования УТР-2 дополнительного фазовращателя быстрого сканирования [33], который осуществляет быстрое перемещение пятерки карандашных лучей с востока на запад. В результате на частоте 25 МГц область обзора гелиографа составляет  $2.5^\circ \times 3.3^\circ$  по склонению и прямому восхождению, соответственно. Корона Солнца является распределенным источником излучения, что явно отображается на гелиограмме.

Как уже было сказано ранее, плотность потока спокойного Солнца можно оценить с помощью сравнения с одним из мощных калибровочных источников. Такой подход является обоснованным и дает приемлемую точность определения величины потока при выполнении ряда условий. Одним из них выступает относительное равенство склонений Солнца и калибровочного источника. С этой целью была проведена выборка источников по указанному критерию из каталога 3CR. Для начала из общего числа 328 источников были исключены те, склонение которых превышает годовое изменение склонения Солнца  $\pm 23.45^\circ$ . Оставшиеся после этого 142 объекта, кроме склонения, должны удовлетворять измене-



**Рис. 2.** «Грязные» карты радиоисточника 3C123 (левая панель) и короны Солнца (правая панель) на частоте 21.0 МГц. Интенсивность излучения нормирована к единице, фон вычтен (ноль). Белый цвет соответствует минимальной интенсивности, черный — максимальной.

ниям второй координаты Солнца — прямому восхождению. В результате были оставлены 12 источников, склонение которых близко к склонению Солнца в пределах  $\pm 2^\circ$ . Кроме того, источник должен быть мощный. Из рис. 3 видно, что только объект ЗС144 полностью подходит под установленные критерии и может быть правомерно использован в качестве калибровочного источника. Другие мощные радиоисточники ЗС274, ЗС405, ЗС461 занимают существенно отличные положения на небесной сфере. Следует отметить, что возможность применения ЗС144 для процедуры калибровки ограничена временным интервалом, за который Солнце изменит свою позицию как по склонению, так и по прямому восхождению. Используя формулу

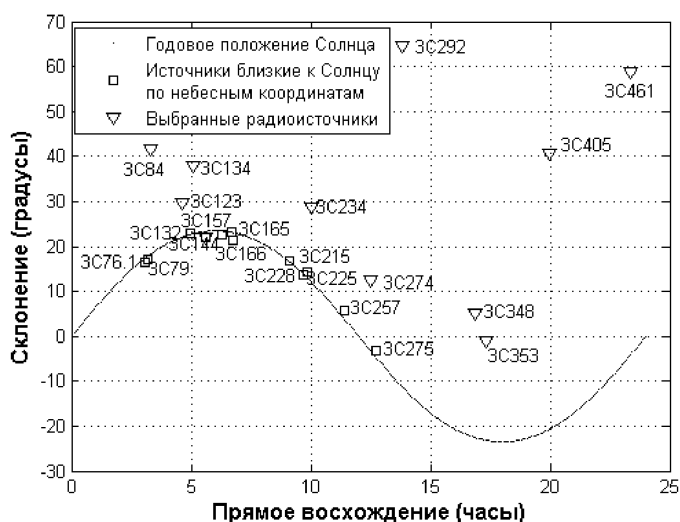
$$\delta \approx 23.45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (d - 81) \right] \quad (7)$$

для вычисления склонения Солнца, в который  $d$  означает порядковый номер дня в году, получаем необходимое временное «окно». Заметим, что примерно в период с конца мая по начало июля Солнце и ЗС144 будут находиться близко к друг другу по небесным координатам (в пределах  $\pm 2^\circ$  по склонению). Представляет интерес использование ЗС144 для проведения процедуры калибровки, однако в то же время это может выступать мешающим фактором при получении гелиограмм. В случае нахождения солнечной короны вблизи источника ЗС144 излучение более мощного радиоисточника (ЗС144 по сравнению с радиоизлучением спокойного Солнца) может попадать на гелиограмму по боковым лепесткам антенны УТР-2 и вносить заметные погрешности в исследование радиоизображения короны спокойного Солнца.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрены возможности исследования радиоизлучения спокойного Солнца с помощью телескопа УТР-2. Антенная система УТР-2 представляет собой уникальный радиоастрономический инструмент, являющийся самым низкочастотным и многоканальным в декаметровом диапазоне длин волн. Кроме того, после длительного перерыва гелиографических измерений, режимы одномерного и двумерного гелиографа были вновь внесены в программу наблюдений радиоизлучения Солнца. Эти режимы позволяют получать важную дополнительную информацию о спектре излучения такого состояния Солнца, его угловых размерах, а также распределении радиояркости на низких частотах. Показано, что распределения яркости спокойного Солнца близко к двумерной гауссоиде, которая вытянута в экваториальном направлении. Существует возможность полного восстановления такого изображения спокойного Солнца по двум сканам при разных углах сканирования. В качестве математического метода восстановления изображения солнечной короны используется алгоритм обратного преобразования Радона. Данный подход будет задействован в дальнейших наблюдениях солнечной короны.

Получены изображения нескольких радиоисточников, а также распределения яркости спокойного Солнца двумерным гелиографом. Для настоящего гелиографа эти радиоисточники являются точечными и имеют различные значения плотности потока на декаметровых волнах. Они были выбраны для проверки корректной работы гелиографа и оценки его чувствительности. Проведена выборка мощных радиоисточников на низких частотах с известным спектром. Наиболее сильным источником, который может иметь самое близкое к Солнцу склонение и прямое восхождение, является ЗС144. Поэтому представляет интерес выполнения параллельных наблюдений спокойного Солнца и ЗС144 для одновременного



**Рис. 3.** Сравнительная диаграмма положения выбранных радиоисточников и Солнца: линия показывает годовое изменение положения Солнца на небесной сфере; квадратиками отмечены близкие к Солнцу по склонению и прямому восхождению источники в течение года; треугольниками показаны наиболее интенсивные источники, которые исследовались с помощью гелиографа в летний период 2010 года.

их захвата кадром гелиографа. Кроме того, просвечивание солнечной короны мощным радиоисточником является дополнительным методом исследования ее структуры. Более подробно результаты наблюдений спокойного Солнца двумерным гелиографом и одномерными сканами будут рассмотрены в отдельных работах.

Автор выражает благодарность своим коллегам Станиславскому А.А. и Коноваленко А.А. за их полезные замечания, интересные дискуссии, а также помощь в процессе выполнения настоящей работы.

1. Краус Дж. Радиоастрономия. — М.: Сов. радио, 1973. — 456 с.
2. Ramesh R. Multi-frequency observations of the outer solar corona with the Gauribidanur radioheliograph, Ph.D. thesis. — Bangalore University, 1999. — P. 172.
3. Smerd S.F. Radio-frequency radiation from the quiet Sun // Australian J. Sci. Res. A. — 1950. — **3**. — P. 34–59.
4. Kundu M.R., Mukul R. Solar radio astronomy. — New York: Interscience Publication, 1965. — P. 660.
5. Aubier M., Leblanc Y., Boischot A. Observations of the Quiet Sun at Decameter Wavelengths - Effects of Scattering on the Brightness Distribution // Astron. and Astrophys. — 1971. — **12**. — P. 435–441.
6. Kundu M.R., Gergely T.E., Erickson W.C. Observations of the quiet Sun at meter and decameter wavelengths // Solar Phys. — 1977. — **53**. — P. 489–496.
7. Erickson W.C., Gergely T.E., Kundu M.R., et al. Determination of the decameter wavelength spectrum of the quiet Sun // Solar Phys. — 1977. — **54**. — P. 57–63.
8. Sheridan K.V. Some Recent Explorations of the Solar Corona from the Culgoora Solar Radio Observatory // Astr. Soc. Australia, Proc. — 1978. — **3**, №3–4. — P. 185–194.
9. Thejappa G., Kundu M. R. Unusually low coronal radio emission at the solar minimum // Solar Phys. — 1992. — **140**. — P. 19–39.
10. Lantos P., Alissandrakis C. E. Analysis of coronal emissions observed at meter wavelengths // Astron. and Astrophys. — 1999. — **351**. — P. 373–381.
11. Ramesh R. Low Frequency Radio Emission from the Quiet Sun // J. Astrophys. Astr. — 2000. — **21**. — P. 237–240.
12. Subramanian K.R. Brightness temperature and size of the quiet Sun at 34.5 MHz // Astron. and Astrophys. — 2004. — **426**. — P. 329–331.
13. Thejappa G., MacDowall R.J. Effects of scattering on radio emission from the quiet Sun at low frequencies // Astrophys. J. — 2008. — **676**. — P. 1338–1345.
14. Коноваленко А.А. Перспективы низкочастотной радиоастрономии // Радиофизика и Радиоастрономия. — 2005. — **10**, №5. Специальный выпуск. — С. S86–S114.
15. Абранин Э.П., Базелян Л.Л. Декаметровое излучение спокойного Солнца. — Харьков: Институт радиофизики и электроники АН УССР, 1986. — 32 с.  
<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/19/064/19064995.pdf>
16. Erickson W.C., Mahoney M.J., Erb K. The Clark Lake Teepee-Tee telescope // Astrophys. J. Suppl. Series. — 1982. — **50**. — P. 403–419.
17. Kruger A. Introduction to Solar Radio Astronomy and Radio Physics. — Berlin: Springer. — 1979. — P. 356.
18. Leblanc Y., Le Squeren A.M. Dimensions, Temperature and Electron Density of the Quiet Corona. Their variations during the solar cycle // Astron. and Astrophys. — 1969. — **1**. — P. 239–248.
19. Станиславский А.А., Абранин Э.П., Коноваленко А.А., Коваль А.А. Гелиограф радиотелескопа УТР-2. I. Общая схема // Радиофизика и Радиоастрономия. — 2011. — **16**, №1. — С. 5–14.
20. Ryabov V.B., Vavriv D.M., Zarka P., et al. A low-noise, high-dynamic-range, digital receiver for radio astronomy applications: an efficient solution for observing radio-bursts from Jupiter, the Sun, pulsars, and other astrophysical plasmas below 30 MHz // Astron. and Astrophys. — 2010. — **510**. — P. 16–28.
21. Абранин Э.П., Брук Ю.М., Захаренко В.В., и др. Структура и параметры новой системы антенного усиления радиотелескопа УТР-2 // Радиофизика и Радиоастрономия. — 1997. — **2**, №1. — С. 95–102.
22. Mel'nik V.N., Konovalenko A.A., Rucker H.O., et al. Observations of solar type II bursts at frequencies 10–30 MHz // Solar Phys. — 2004. — **222**. — P. 151–166.
23. Konovalenko A.A., Stanislavsky A.A., Abranin E.P., et al. Absorption in Burst Emission // Solar Phys. — 2007. — **245**. — P. 345–354.
24. Leblanc Y. The correlation between coronal enhancements observed at 5303Å and 6374Å and radio condensations at a frequency of 169 MHz // Astron. and Astrophys. — 1969. — **1**. — P. 467–472.
25. Radon J. Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten. — Leipzig: Berichte Sächsische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Physikalische Klasse. — 1917. — **69**. — P. 262–277.
26. Bracewell R.N. Strip Integration in Radio Astronomy // Australian J. Phys. — 1956. — **9**. — P. 198–217.
27. Barbey N., Auchere F., Rodet T., et al. Rotational Tomography of the Solar Corona-Calculation of the Electron Density and Temperature // Proc. of the Conf. SOHO-17: 10 Years of SOHO and Beyond, Giardini Naxos, Sicily, Italy, May 7–12, 2006.  
<http://articles.adsabs.harvard.edu//full/2006ESASP.617E..82B/0000082.004.html>

28. *Abranin E.P., Baselyan L.L., Goncharov N.Yu., et al.* Positions of solar storm burst sources by observations with a heliograph based on the UTR-2 antenna at 25 MHz // *Solar Phys.*–1980. — **66**. — P. 393–409.
29. *Abranin E.P., Baselyan L.L., Zaitsev V.V., et al.* Radio echo and sporadic scattering in the solar corona // *Solar Phys.* — 1982. — **78**. — P. 179–186.
30. *Abranin E.P., Baselyan L.L., Zaitsev V.V., et al.* Multiple radio echoes in the solar corona // *Solar Phys.* — 1984. — **91**. — P. 383–398.
31. *Абранин Э.П., Базелян Л.Л., Цыбко Я.Г.* Параметры динамического спектра солнечных декаметровых радиовсплесков IIIд типа с эхокомпонентами // *Астрономический журнал.* — 1996. — **73**, № 6. — С. 939–946.
32. *Абранин Э.П., Базелян Л.Л., Цыбко Я.Г.* Амплитудные профили солнечных радиовсплесков IIIд типа с эхо-компонентой и глобальная дислокация их элементарных квазимонохроматических источников // *Изв. ВУЗов Радиофизика.* — 2000. — **43**, № 12. — С. 1027–1043.
33. *Абранин Э.П., Станиславский А.А., Коваль А.А., Коноваленко А.А.* Гелиограф радиотелескопа УТР-2. I. Конструктивные особенности // *Радиофизика и Радиоастрономия.*–2011. — **16**, № 2. — С. 135–143.
34. *Коноваленко А.А., Станиславский А.А., Коваль А.А., Абранин Э.П.* Гелиограф радиотелескопа УТР-2. I. Наблюдения // *Радиофизика и Радиоастрономия* (в печати).

Поступила в редакцию 1.08.2011