

УДК 523.98

О новой концепции спектральной радиометрии на РАТАН-600

*В.М. Богод, М.К. Лебедев, Н.Е. Овчинникова, А.М. Рупак, А.А. Стороженко,
Е.А. Курочкин*

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167, Зеленчукский район, Карачаево-Черкесская Республика, Россия
vbog_spb@mail.ru

Поступила в редакцию 1 октября 2023 г.

Аннотация. Представлены результаты новых наблюдений радиоизлучения короны Солнца в диапазоне 1–3 ГГц на РАТАН-600. Сложность наблюдений в этом диапазоне обусловлена большим количеством помех искусственного происхождения (мобильная связь, спутниковая навигация, микроволновые печи, авиационные локаторы и др.). Задачи, связанные с проблемами преобразования магнитной энергии в энергию вспышек, нагрева короны, роли узкополосных явлений, квазипериодических пульсаций в солнечной короне, остаются актуальными. Стала насущной смена концепции приемной спектральной аппаратуры для радиотелескопа РАТАН-600. В САО РАН ведется работа по созданию серии спектральных комплексов нового поколения с перекрытием всего рабочего диапазона РАТАН-600. В данной статье мы представляем результаты первых серий наблюдений на панорамном спектральном радиометрическом комплексе в диапазоне 1–3 ГГц (ПСРК 1–3 ГГц) по исследованиям слабоконтрастных корональных структур. Становится доступной реализация режима наблюдений различных объектов: от мощных вспыхивающих радиоисточников до слабых структур, вплоть до радиогрануляционного уровня. Разработаны и внедрены высокоскоростные средства приема и обработки информации с целью разделения полезных и помеховых сигналов в режиме реального времени. Эти параметры в совокупности с возможностями РАТАН-600 по эффективной площади и широкому частотному перекрытию позволили провести наблюдения слабых корональных структур в диапазоне 1–3 ГГц. Обсуждаются результаты первых серий наблюдений слабых корональных структур и их интерпретация по воздействию на тепловые процессы в короне.

Ключевые слова: Солнце, радиотелескоп, наблюдения, спектр, анализ главных компонент

1 Введение

Проблема физических исследований радиоизлучения солнечной короны состоит в необходимости изучения малоcontrastных структур на фоне мощного сигнала спокойного Солнца для выяснения природы коронального нагрева. Наземные и спутниковые наблюдения указывают на локализацию вспышечных процессов в вершинах корональных петель, отражающих структуру коронального магнитного поля в активной области (АО).

Радиоизлучение дециметровых волн связано с проявлениями многочисленных процессов, определяющих диссипацию энергии магнитного поля в кинетическую энергию ускоренных частиц на частотах 1–3 ГГц. Для детального исследования этого процесса существуют определенные ограничения, так как многие явления излучают на фоне мощного сигнала спокойного Солнца, что препятствует реализации большой чувствительности и анализу тонкой частотной структуры. При этом необходимо реализовать большой динамический диапазон для регистрации тонкой структуры в диапазоне от 10^{-3} s.f.u. до сигналов, превышающих уровень потока от спокойного Солнца в десятки раз при вспышечных процессах.

Несмотря на наличие крупных интерферометров, работающих в режиме радиогелиографа, по ряду причин большой динамический диапазон можно реализовать лишь на крупных инструментах со сплошной апертурой собирающей поверхности в широком диапазоне частот (Bogod, 2020).

Сегодня таким инструментом является радиотелескоп рефлекторного типа РАТАН-600, в котором уже реализуется режим длительного сопровождения Солнца с применением новых технологий радиометрического приема сигналов. Этот инструмент позволяет эффективно использовать большую площадь приемной поверхности, охватывать широкий диапазон частот, проводить точные измерения поляризации, а также осуществлять многоазимутальные наблюдения во временном интервале до 4 часов.

Новые перспективы открывает применение панорамного спектрального радиометрического комплекса (ПСРК 1–3 ГГц) с высоким частотным разрешением 8192 канала/ГГц (Bogod et al., 2023). Минусом является умеренное пространственное разрешение, которое тем не менее позволяет выделять отдельные активные структуры на диске Солнца. Для устранения неоднозначности по пространственному разрешению мы используем высокую чувствительность по потоку и поляризации излучения и сопоставления с картами AIA SDO для исследуемых структур.

Дополнительным важным фактором является сплошная во всех диапазонах пространственно-частотная характеристика антенны, что совместно с высоким динамическим диапазоном (около 90 дБ) способствует выделению слабых сигналов на фоне мощного сигнала Солнца.

Радиоизлучение солнечной короны в диапазоне 1–3 ГГц отражает процессы, связанные с пересоединением магнитных линий в арочных структурах в короне. Эти процессы являются основными для нагрева короны и происходят в структурах различных масштабов, вплоть до нановспышек, согласно известной модели Parker (1988). Однако данные наблюдений в этом диапазоне сильно ограничены из-за большого количества промышленных помех (мобильная связь, GPS, микроволновые печи, авиационные радары и т. д.). С другой стороны, некоторые наблюдательные данные (Bogod et al., 2001) указывают на наличие тонкой структуры (микровсплесков, спайков), для изучения которой необходима адекватная радиоастрономическая техника. В данной работе предлагается новая концепция спектрометрики для использования на крупном радиотелескопе РАТАН-600, рассматриваются ее возможности и первые результаты применения для анализа радиоизлучения солнечной короны. Важным дополнением для исследования радиоизлучения Солнца на РАТАН-600 становится внедрение в регулярную эксплуатацию методов, расширяющих временной диапазон наблюдений (от 1 мс до 4 часов) путем использования технологии многоазимутальных наблюдений (Storozhenko et al., 2020). Применение высокоскоростных методов регистрации (Рипак и др., 2023) способствует получению новых данных по частотно-временной структуре солнечных квазипериодических пульсаций, регистрации солнечных струй в активных областях и т. д. Повышению эффективности наблюдений будет способствовать новая методика скоростной регистрации с чисткой помех искусственного происхождения на основе статистических методов (Lebedev et al., 2020).

2 Особенности нового инструментария

Испытания ПСРК проводились в диапазоне 1–3 ГГц. Этот диапазон в настоящее время сильно загрязнен помехами от мобильной связи, авиарадаров и СВЧ-аппаратуры домашнего пользования. Применение высокоскоростных технологий в новой аппаратуре спектральной радиометрии позволяет эффективно развивать цифровые методы устранения помех.

Новая экспериментальная основа позволяет проводить наблюдения с беспрецедентным частотным разрешением в широком диапазоне частот и с большим динамическим диапазоном. Кроме того, она использует методы обработки многомерных данных (Дребуцак, 2013), которые дают возможность реализовать мультиобъектные наблюдения и обнаруживать слабые сигналы на фоне сильного сигнала.

2.1 О достигнутых параметрах нового спектрального комплекса

Новая концепция спектральной радиометрии содержит в себе следующие основные принципы:

- 1) отказ от схемы детектирования как основного элемента радиометра и переход на прямую оцифровку радиосигнала с использованием высокоскоростных аналого-цифровых преобразователей (АЦП);
- 2) создание системы высокоскоростной регистрации спектра в широком диапазоне частот;
- 3) проведение многоканальных наблюдений с предельным частотным разрешением;

- 4) выполнение многих аппаратурных функций в режиме онлайн (устранение помех на основании оценки спектрального куртозиса), а также других функций (калибровки, стабилизации, коррекции динамического диапазона и пр.);
- 5) применение многомерных методов обработки данных.

В основу новой концепции также входят основные параметры рефлекторного радиотелескопа РАТАН-600, а именно:

- 1) большая мгновенная площадь радиотелескопа (500–1000 м²);
- 2) широкий рабочий многооктавный диапазон частот (1–40 ГГц);
- 3) плавная пространственно-частотная характеристика во всем диапазоне частот радиотелескопа;
- 4) режим сопровождения выбранного объекта на Солнце в течение четырех часов в автоматическом режиме.

Как показано в [Есепкина и др. \(1973\)](#), качество частотного отклика радиометра определяется не только амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) его усилительного тракта, но и пространственно-частотной характеристикой антенны (ПЧХ) и в предположении чистой (беспомеховой) среды перед радиотелескопом. Таким образом, результат представляет собой фурье-произведение двух фильтров ПЧХ и АЧХ. Сказанное особо важно для широкополосных многооктавных систем спектральной радиометрии. Для радиотелескопов рефлекторного типа пространственно-частотная характеристика $A_{uv}(f)$ определяется физическими размерами апертуры и монотонно меняется от минимального значения до максимальной рабочей частоты и периодически калибруется.

2.2 Устранение помех

В ПСРК 1–3 ГГц помехи устраняются тремя способами:

1. Фильтровый (схемный) метод для устранения помех от мобильной связи, авиа-, ТВ- и бытовой техники.
2. Онлайн-метод оценки гауссовости спектральных компонент по статистическим критериям, применяемый против помех средней мощности. Мы используем метод, основанный на оценке куртозиса (четвертого момента распределения значений мощности сигнала), что позволяет различать сигналы естественного и искусственного происхождения ([Lebedev et al., 2022](#)). Такая предварительная очистка позволяет эффективно проводить дальнейшую обработку данных ([Ovchinnikova et al., 2022](#)).
3. Офлайн-обработка сигнала методом главных компонент ([Померанцев, 2008](#)). Высокое спектральное разрешение позволяет идентифицировать процессы в выбранном спектральном диапазоне или в отдельных областях Солнца и определить их спектральную структуру. На данном этапе происходит окончательная очистка сигнала от помех ([Ovchinnikova et al., 2022](#)).

2.3 Чувствительность и динамический диапазон

Для крупного рефлекторного инструмента РАТАН-600 в режиме солнечных наблюдений важно достичь сочетания высокой чувствительности и большого динамического диапазона. Высокая чувствительность используется как при наблюдениях опорных радиоисточников (рис. 1), так и при спектральных наблюдениях слабых корональных структур, для чего необходима большая эффективная площадь инструмента. При этом большой динамический диапазон важен для детальной регистрации как слабых, так и мощных вспышечных сигналов. Для оценки пороговой чувствительности по потоку радиоизлучения для рефлекторного телескопа справедлива формула [Wilson \(2013\)](#):

$$\Delta F_{s.f.u.} = \frac{2k(T_{sys} + \mu T_{Sun})}{A_{uv}(f)S\sqrt{(\Delta f n)\tau(n\Delta t)N}}. \quad (1)$$

Здесь:

- $\Delta F_{s.f.u.}$ – чувствительность радиотелескопа по потоку излучения, s.f.u.;
- $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Вт · м² · Гц⁻¹ – постоянная Больцмана;
- $T_{sys} = T_a + T_{rad}$ – шумовые температуры антенны и радиометра;

- μT_{Sun} – температура источника сигнала с учетом коэффициента рассеивания антенны;
- $A_{uv}(f)$ – ширина полосы фильтра пространственных частот u и v ;
- S – эффективная площадь антенны РАТАН-600 (700–1000 м²);
- $n \approx 10^4$ – число частотных каналов;
- $\Delta f \approx 0.1$ МГц – ширина полосы одного канала;
- $(n\Delta t)N$ – произведение временных отсчетов считывания $\tau = 10^{-3} \div 1$ с и числа временных интервалов накопления N в режиме слежения (от 8 мс до 600 с);
- $\Delta f/f = 10^{-4}$ – 10^{-5} – относительное разрешение по частоте;
- $\Delta t = 8$ мс/спектр – временное разрешение;
- $D = 90$ дБ – динамический диапазон.

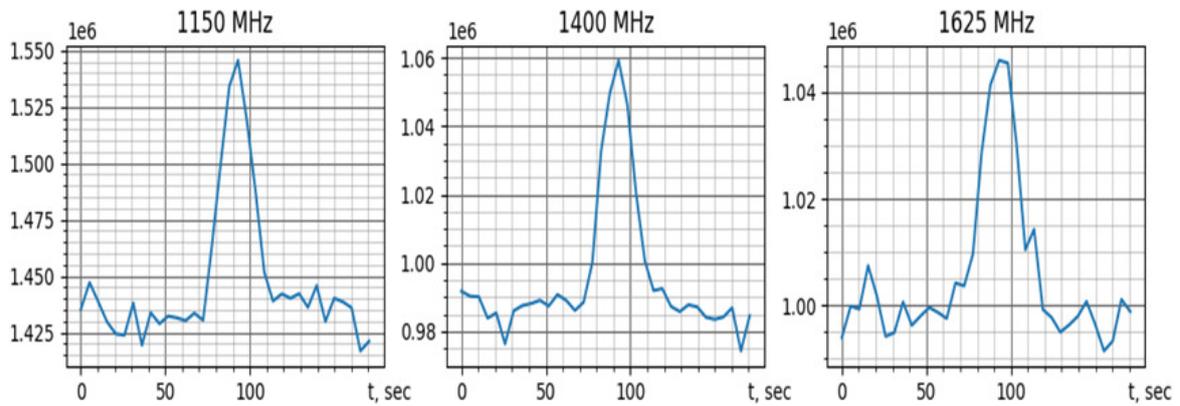


Рис. 1. Пример регистрации опорного радиоисточника – Крабовидной туманности (NGC 1952) 2021-06-28, Az = +12, выборка на нескольких частотах

2.4 Частотное разрешение и широкий диапазон частот

В ПСРК 1–3 ГГц реализовано полное перекрытие диапазона за вычетом полос режекторных фильтров, подавляющих помехи от мобильной связи. Достигнуто абсолютное частотное разрешение $\Delta f = 120$ кГц. Это обеспечивает число частотных каналов 8192 и относительное частотное разрешение $\Delta f/f = 10^{-4}$ – 10^{-5} . Предполагается расширение концепции на все частотные диапазоны РАТАН-600.

2.5 Временные характеристики

Временное разрешение в рабочем режиме составляет $\Delta t = 8$ мс/спектр. В ПСРК 1–3 ГГц реализуется усреднение по времени в пределах от 8 мс до 600 с. Проходит отладку режим азимутального сопровождения на Южном секторе с Перископом (Овчинникова, Лебедев, 2023; Вакурин и др., 2023; Лебедев и др., 2023).

3 Обработка спектральных данных методом анализа главных компонент

Большие массивы спектральных данных требуют новых подходов к их обработке. Максимальное число каналов ПСРК в диапазоне 1–3 ГГц составляет 8192 канала/ГГц (т. е. 16384 канала по интенсивности в каждой поляризации). Продолжительность одного наблюдения Солнца обычно составляет 150 с, что при разрешении 0.008 с дает $150 \times 125 = 18750$ отсчетов (рис. 2). Таким образом, у нас есть матрица данных 16384×18750 . Для обработки и анализа многоволновых данных РАТАН-600 мы использовали анализ главных компонент (Дребущак, 2013). В общем массиве данных сигналы малой

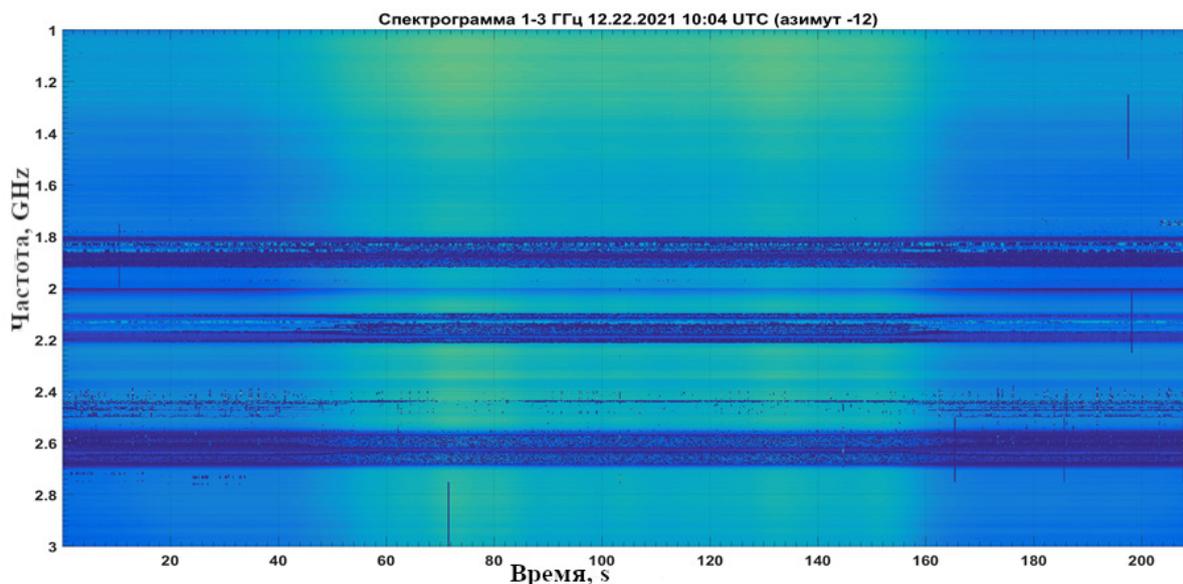


Рис. 2. Запись скана диска Солнца для 22 декабря 2021 г. По оси абсцисс отложено время записи 200 с с разрешением 8 мс, по вертикали отложен диапазон частот 1–3 ГГц с разрешением 2 МГц. На спектрограмме видны три полосы режекторных фильтров и темные пиксели на месте помех, удаленных методами, описанными в п. 2.2

амплитуды трудно различать на фоне мощного сигнала от Солнца (Ovchinnikova et al., 2022). Представление исходного массива данных в виде произведения матриц исключает взаимную корреляцию переменных и переводит пространство данных в пространство взаимно ортогональных спектральных компонент. Эти компоненты отсортированы по их вкладу в общую энергию, крупномасштабные структуры представлены небольшим числом первых главных компонент. Оставшиеся главные компоненты дают нам скрытые переменные, которые мы ищем, учитывая соотношение сигнал/шум. Применительно к солнечным радиоданным последовательно выделяются:

- 1) медленно меняющаяся радиоконпонента и спокойное Солнце,
- 2) быстро меняющаяся компонента (всплески),
- 3) мешающие компоненты (помехи),
- 4) шумовые компоненты.

4 Наблюдения слабоконтрастных образований с помощью ПСРК 1–3 ГГц

Регистрация слабых активных образований на Солнце является важной наблюдательной задачей для всех диапазонов, поскольку представляет интерес в свете фундаментальной проблемы нагрева солнечной короны. Основная сложность заключается в том, что регистрация таких процессов происходит на фоне мощного сигнала от спокойного Солнца, что затрудняет наблюдение слабых источников. В радиодиапазоне квант излучения имеет меньшую энергию, чем в оптическом диапазоне, и может нести информацию о слабых значимых процессах. Поскольку чувствительность радиодиапазона достаточно высока, есть надежда на разработку методов выделения слабых сигналов на фоне сильных.

На рис. 3 приведено одно из первых наблюдений Солнца, полученное на новом спектральном комплексе. Радиоскан на одном частотном канале 1.7 ГГц наложен на снимок SDO (304 Å). На врезках приведены спектры излучения вблизи активных областей AR 12907, 12909, 12913. Пространственное разрешение РАТАН-600 по часовому углу в этом диапазоне составляет 2.5'. При обработке всех каналов можно заметить слабые спектральные особенности (полосы поглощения, Овчинникова и др., 2023).

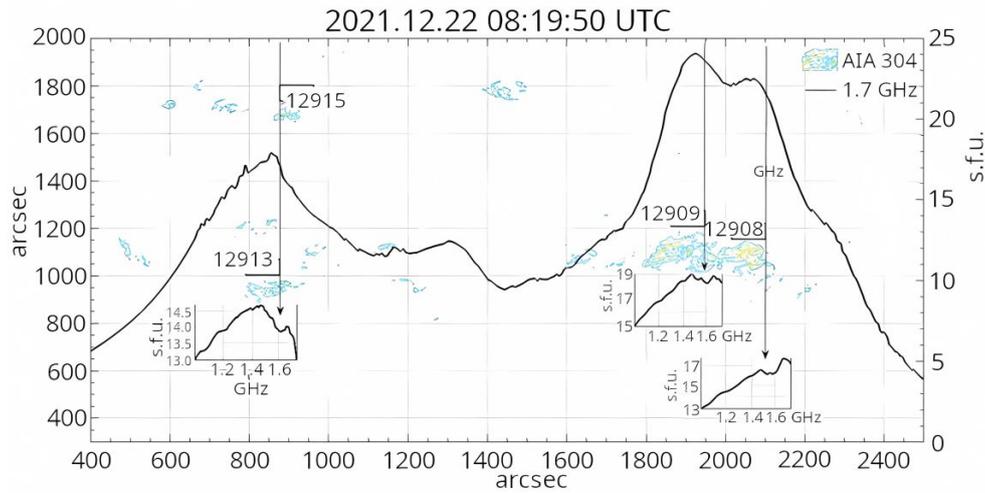


Рис. 3. Скан диска Солнца 22.12.2021 г. на частоте 1.7 ГГц на ПАТАН-600, наложенный на снимок SDO AIA на длине волны 304 Å

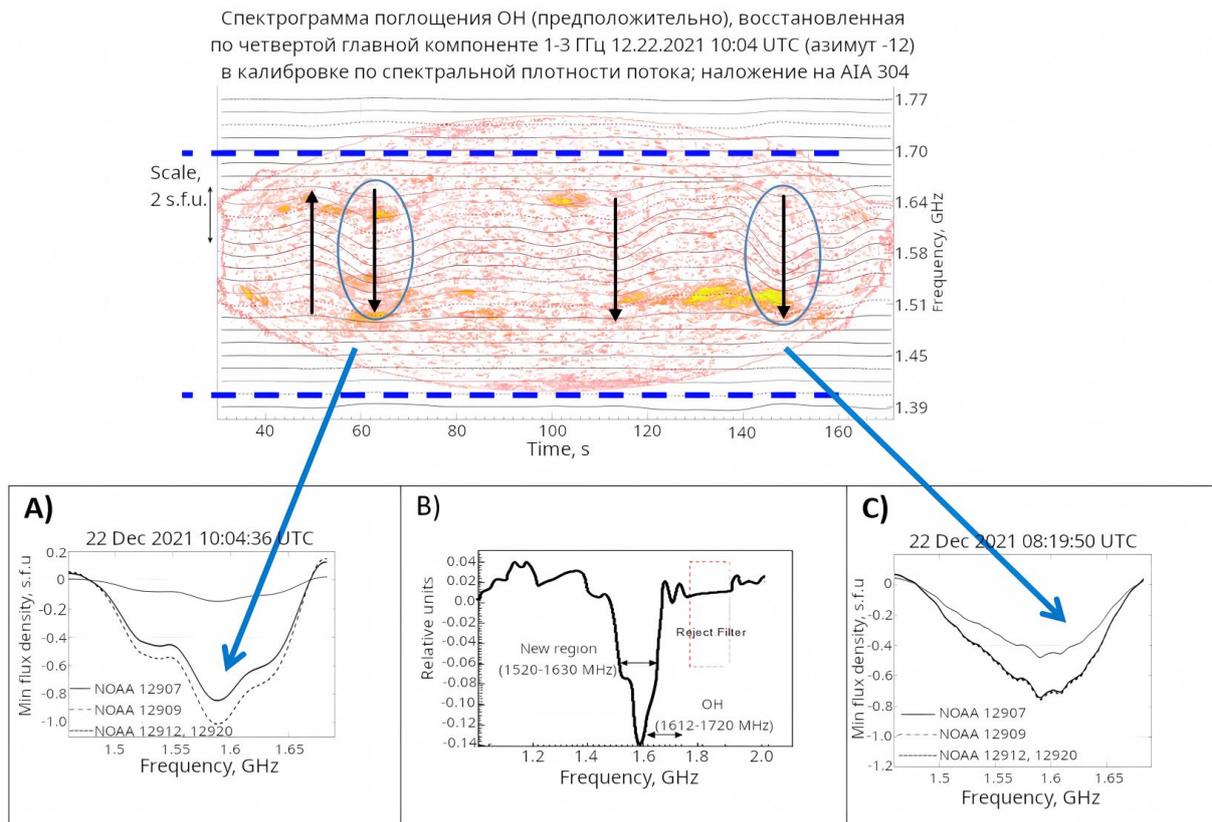


Рис. 4. Результаты обработки данных за 22.12.2021 г.

На рис. 4 представлены детальные данные этого наблюдения. В результате обработки с использованием разложения на главные компоненты были удалены помехи, мощные сигналы спокойного Солнца и активных областей. Верхний рисунок показывает частотные каналы с разрешением 2 МГц/канал в участке спектра 1.39–1.77 МГц, восстановленные без спектральных компонент фонового излучения Солнца и мощного излучения АО. Стрелки показывают участки сканов с погло-

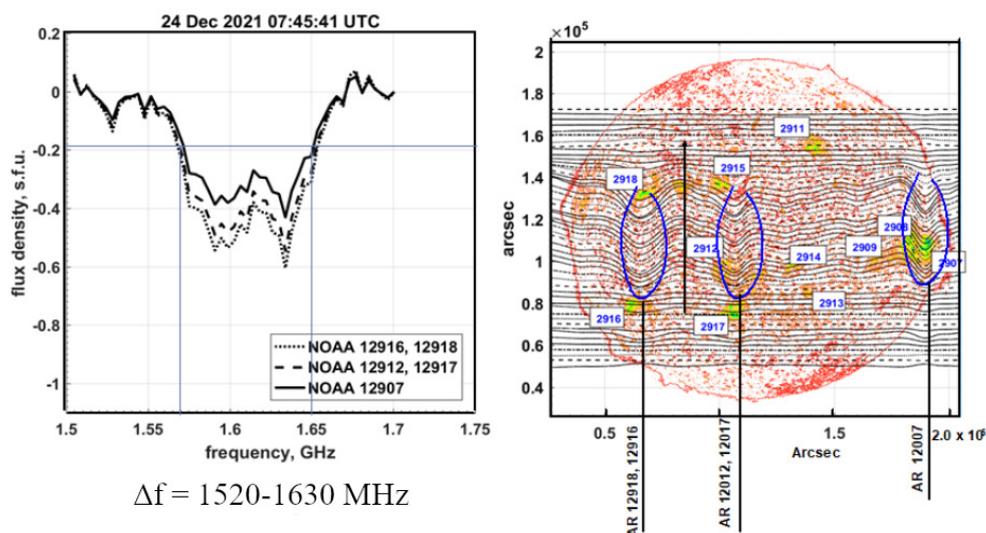


Рис. 5. Результаты обработки данных за 24.12.2021 г.

щением и уярчением. В нижней части рисунка приведены спектры АО, в которых наблюдается поглощение. В центре – спектральная компонента излучения Солнца, которая указывает на наличие поглощения в диапазоне 1520–1630 МГц. Интересно заметить, что рядом находится известная в радиоастрономии линия OH (1612–1720 МГц).

На рис. 5 приведены результаты наблюдений 24 декабря 2021 г. Из-за вращения Солнца АО 12907 и 12912 заняли новое положение с сохранением полосы поглощения в спектре, а на востоке возникли области 12916 и 12918, в которых также отмечалось поглощение в том же диапазоне частот (см. левую часть рисунка).

5 Анализ результатов наблюдений

Наблюдения, выполненные с большим динамическим диапазоном и высоким частотным разрешением, указывают на наличие тонкой спектральной структуры в солнечной короне над солнечными пятнами. Здесь впервые обнаружена спектральная неоднородность. Наблюдения 22 декабря 2021 г. зафиксировали области поглощения (с максимумом до 0.6 s.f.u.) в АО NOAA 12907, 12909, 12913 (см. рис. 3 и 4). Также в этот день на диске существовали АО, в которых поглощение отсутствовало. Таким образом, по результатам первой серии наблюдений мы можем подытожить основные наблюдательные факты.

1. В диапазоне 1520–1630 МГц в отдельных областях Солнца наблюдаются полосы поглощения.
2. Поглощение наблюдалось только в излучении тех АО, которые перекрывались холодным волокном, видимым на снимках в $H\alpha$, и для АО на лимбе в присутствии протуберанца – т. е. только там, где потенциально возможно существование гидроксильной группы (Ovchinnikova et al., 2022; Ovchinnikova и др., 2023).
3. Области, в которых отмечалось поглощение, были вспыхивающе-активными.
4. Величина поглощения находится в пределах 0.2–0.6 s.f.u.
5. Максимум поглощения часто проектируется на хвостовую область группы пятен.

Главный вопрос заключается в том, какова природа регистрируемого поглощения. Рассматриваются две предварительные версии. Согласно первой версии, провал в спектре может быть связан с процессами, происходящими в активной области. Согласно второй версии, в радиоизлучении АО наблюдается группа линий, предположительно возникающих в результате расщепления уровней $X^2P_{3/2}$ 0–0 и 1–1 в основном состоянии гидроксильной группы, обусловленного аномальным эффектом Зеемана в области действия сильных магнитных полей над АО (Maeda et al., 2015). Результаты последних наблюдений (Ovchinnikova et al., 2022; Ovchinnikova и др., 2023), в частности в режиме сопровождения с высоким частотным разрешением, говорят в пользу последней версии.

Дальнейшее изучение этих явлений укажет на их физическую природу.

6 Выводы

Работа посвящена первым результатам наблюдений на новом спектральном комплексе высокого частотного разрешения в диапазоне частот 1–3 ГГц на радиотелескопе РАТАН-600. Достигнутая высокая чувствительность подтверждена методами регистрации слабых сигналов как в уярчении, так и в поглощении на уровне около 10^{-3} – 10^{-4} s.f.u. на диске Солнца. Это указывает на температурную неоднородность короны в исследуемом диапазоне частот. Было замечено несколько новых эффектов: поглощение в диапазоне 1520–1630 МГц, неравномерное тепловое распределение в детальнейших температурных спектрах. Предложена предварительная интерпретация, которая нуждается в дальнейшей разработке.

Благодарности. Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Обновление приборной базы осуществляется в рамках национального проекта “Наука и университеты”.

Работа выполнена в рамках государственного задания САО РАН, утвержденного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Литература

- Вакурин В.С., Стороженко А.А., Жаров В.И., Гречкин А.А., 2023. Всероссийская конференция “Современные инструменты и методы в астрономии”. С. 5. [Vakurin V.S., Storozhenko A.A., Zharov V.I., Grechkin A.A., 2023. Modern Instruments and Methods in Astronomy, All-Russian Conference Proceedings, p. 5. (In Russ.)].
- Дребущак Т.Н., 2013. Введение в хемометрику: Учеб. пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный университет. [Drebushchak T.N., 2013. Introduction to chemometrics: Textbook. Novosibirsk: Novosibirsk State University. (In Russ.)].
- Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н., 1973. Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука. [Esepkina N.A., Korol'kov D.V., Pariiskii Yu.N., 1973. Radio telescopes and radiometers. M.: Nauka. (In Russ.)].
- Лебедев М.К., Овчинникова Н.Е., Стороженко А.А., 2023. Всероссийская конференция “Современные инструменты и методы в астрономии”. С. 8. [Lebedev M.K., Ovchinnikova N.E., Storozhenko A.A., 2023. Modern Instruments and Methods in Astronomy, All-Russian Conference Proceedings, p. 8. (In Russ.)].
- Овчинникова Н.Е., Лебедев М.К., 2023. Всероссийская конференция “Современные инструменты и методы в астрономии”. С. 8. [Ovchinnikova N.E., Lebedev M.K., 2023. Modern Instruments and Methods in Astronomy, All-Russian Conference Proceedings, p. 8. (In Russ.)].
- Овчинникова Н.Е., Богод В.М., Лебедев М.К., 2023. Труды XXVII Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца “Солнечная и солнечно-земная физика – 2023”. С. 245. [Ovchinnikova N.E., Bogod V.M., Lebedev M.K., 2023. Proceedings of the XXVII All-Russian Annual Conference on Solar Physics “Solar and Solar-Terrestrial Physics – 2023”, p. 245. (In Russ.)].
- Померанцев А., 2008. Метод главных компонент (PCA). Доступно на: <https://rcs.chemometrics.ru/ru/books/metod-glavnykh-komponent/>. [Pomerantsev A., 2008. Principal component analysis (PCA). Available at: <https://rcs.chemometrics.ru/ru/books/metod-glavnykh-komponent/>. (In Russ.)].
- Рипак А.М., Богод В.М., Гренков С.А., Лебедев М.К., 2023. Астрофизический бюллетень. Т. 78. № 4. С. 465. [Ripak A.M., Bogod V.M., Grenkov S.A., Lebedev M.K., 2023. Astrophys. Bull., vol. 78, no. 4, p. 465. (In Russ.)].
- Bogod V.M., 2020. In Romanyuk I.I., Yakunin I.A., Valeev A.F., Kudryavtsev D.O. (Eds), “Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century”. pp. 399–404, doi:10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_399.
- Bogod V.M., Mercier C., Yasnov L.V., 2001. *J. Geophys. Res.*, vol. 106, no. A11, pp. 25353–25360.
- Bogod V.M., Lebedev M.K., Ovchinnikova N.E., Ripak A.M., Storozhenko A.A., 2023. *Cosmic Research*, vol. 61, no. 1, pp. 27–33.

- Lebedev M., Ripak A., Bogod V., 2020. In Romanyuk I.I., Yakunin I.A., Valeev A.F., Kudryavtsev D.O. (Eds), *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century.* pp. 413–416, [doi:10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_413](https://doi.org/10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_413).
- Lebedev M.K., Ovchinnikova N.E., Bogod V.M., Ripak A.M., Storozhenko A.A., 2022. *Proc. Science*, vol. MUTO2022, p. 006.
- Maeda K., Wall M.L., Carr L.D., 2015. *New Journal of Physics*, vol. 17, no. 4, p. 045014.
- Ovchinnikova N.E., Lebedev M.K., Bogod V.M., Ripak A.M., Storozhenko A.A., 2022. *Proc. Science*, vol. MUTO2022, p. 007.
- Parker E.N., 1988. *Astrophys. J.*, vol. 330, p. 474.
- Storozhenko A., Lebedev M., Ovchinnikova N., et al., 2020. In Romanyuk I.I., Yakunin I.A., Valeev A.F., Kudryavtsev D.O. (Eds), *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century.* pp. 407–408, [doi:10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_407](https://doi.org/10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_407).
- Wilson T.L., 2013. In Oswald T.D., Bond H.E. (Eds), *Planets, Stars and Stellar Systems. Volume 2: Astronomical Techniques, Software and Data.* p. 283, [doi:10.1007/978-94-007-5618-2_6](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5618-2_6).

On the concept of spectral radiometry on RATAN-600

V.M. Bogod, M.K. Lebedev, N.E. Ovchinnikova, A.M. Ripak, A.A. Storozhenko, E.A. Kurochkin

Special Astrophysical Observatory, Nizhnij Arkhyz 369167, Zelenchukskiy region, Karachai-Cherkessian Republic, Russia

vbog_spb@mail.ru

Abstract. The results of new observations of radio emission from the solar corona in the range 1–3 GHz using RATAN-600 are presented. The difficulties of observations in this range are caused by a large amount of industrial interference (mobile communications, satellite navigation, microwave ovens, aircraft radars, etc.). Problems related to the conversion of magnetic energy into the energy of flares, heating of the corona, the role of narrow-band phenomena, and quasiperiodic pulsations in the solar corona remain relevant as well. The change of the concept of the receiving spectral apparatus for the RATAN-600 radio telescope has become urgent. SAO RAS is working on the creation of a series of next-generation spectral complexes that cover the entire working range of RATAN-600. In this paper, we present the results of the first series of observations with the panoramic spectral radiometric complex in the range of 1–3 GHz for the low-contrast coronal structures study. The implementation of observation modes for various objects has become feasible: from powerful flares to weak structures, down to the level of radio granulation. High-speed instruments for radio signal reception and information processing have been developed and implemented in order to separate useful signals from interference in real-time mode. These parameters, combined with large effective area and wide frequency coverage of RATAN-600, allowed for observations of weak coronal structures in the frequency range of 1–3 GHz. The results of the first series of observations of weak coronal structures and their interpretation in terms of their impact on thermal processes in the corona are discussed.

Key words: Sun, radio telescope, observations, spectrum, principal component analysis