

СОГЛАСОВАНО

Директор САО РАН,  
К.ф.-м.н. В.В. Власюк

“20” февраля 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Председатель Национального  
комитета по тематике российских  
телескопов

Д.ф.-м.н. К.А. Постнов

“20” февраля 2020 г.

**Циркулярное письмо Национального комитета  
по тематике российских телескопов (НКТРТ)**

К использованию на радиотелескопе РАТАН-600 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН) с начала 2020 г. объявляются следующие радиометрические комплексы:

1. Комплекс радиометров континуума диапазона 1.25-22.3 ГГц (1.25, 2.25, 4.7, 8.2, 11.2 и 22.3 ГГц) с ширинами полос от ~4% (на дм волнах) до 12% относительно центральной частоты на вторичном зеркале №1.
2. Комплекс радиометров континуума “ЭРИДАН” диапазона 2.25-22.3 ГГц (2.25, 4.7, 11.2 и 22.3 ГГц) с ширинами полос от ~4% (на дм волнах) до ~10-12% относительно центральной частоты на вторичном зеркале №2.
3. Многолучевой комплекс радиометров диапазона 4.7 ГГц для поиска быстрых радиовсплесков на вторичном зеркале №5.
4. Солнечный спектрально-поляризационный комплекс на частотах 3-18 ГГц на вторичном зеркале №3.

Ниже дается краткое описание радиометрических комплексов и соответствующих им методов наблюдений, реализованных на РАТАН-600, по состоянию на начало 2020 г. Подробную информацию можно найти в библиотеке САО РАН или на домашней странице обсерватории <http://www.sao.ru> - в руководствах пользователей.

1. Радиометры континуума диапазона 1.25-22.3 ГГц (1.25, 2.25, 4.7, 8.2, 11.2 и 22.3 ГГц) с ширинами полос от ~4% (на дм волнах) до 12% относительно центральной частоты на вторичном зеркале №1.

**Метод 1:** измерение спектральной плотности потока радиоизлучения космических объектов в диапазоне частот 1.25-22.3 ГГц.

2. Комплекс радиометров континуума “ЭРИДАН” диапазона 2.25-22.3 ГГц (2.25, 4.7, 11.2 и 22.3 ГГц) с ширинами полос от ~4% (на дм волнах) до ~10-12% относительно центральной частоты на вторичном зеркале №2.

**Метод 2:** измерение спектральной плотности потока радиоизлучения космических объектов в диапазоне частот 2.25-22.3 ГГц.

3. Многолучевой комплекс радиометров диапазона 4.7 ГГц для поиска быстрых радиовсплесков на вторичном зеркале №5. **Метод 3:** Измерение спектральной плотности потока радиоисточников в диапазоне частот 4.4-5.0 ГГц с высоким временным разрешением (предельное значение 62.5 мкс).

Ответственные за методы 1-3: лаборатория радиометров континуума, Н.А. Нижельский ([nizh@sao.ru](mailto:nizh@sao.ru)), П.Г. Цыбулев ([peter@sao.ru](mailto:peter@sao.ru)).

**Технические особенности.** Современный уровень приемной аппаратуры радиотелескопа РАТАН-600 обеспечивается сверхмалощумящими неохлаждаемыми усилителями на транзисторах с высокой подвижностью электронов (HEMT) и цифровыми сигнальными процессорами в системе регистрации данных. Стандартные параметры радиометрических комплексов представлены в Таблице 1а, 1б и 1с. Обозначения:  $f_0$  - центральная частота (ГГц),  $\Delta f$  - ширина полосы (ГГц),  $\Delta F$  - чувствительность по спектральной плотности потока на единицу элемента разрешения (мЯн/beam),  $HPBW_x$  - ширина диаграммы направленности (антенны) по уровню половинной мощности для склонений  $\delta \sim 42^\circ$ , AR - угловое разрешение для склонений  $\delta \sim 42^\circ$ .

Все радиометры континуума РАТАН-600 - это приемники прямого усиления СВЧ сигнала в заданной полосе частот с квадратичным детектированием для получения выходного сигнала. Режим работы всех приемников - «радиометр полной мощности». Сбор данных осуществляется штатной универсальной системой регистрации, основанной на новой аппаратно-программной подсистеме ER-DAS (Embedded Radiometric Data Acquisition System) [1].

**Таблица 1а.** Параметры радиометров континуума вторичного зеркала №1.

$f_0$ (ГГц)	$\Delta f$ (ГГц)	$\Delta F$ (мЯн/beam)	$HPBW_x$ сек	AR угл. сек
22.3	2.5	50	1.0	11
11.2	1.4	15	1.4	15.5
8.2	1.0	10	2.0	22
4.7	0.6	5	3.2	35
2.25	0.08	40	7.2	80
1.25	0.06	200	10	110

**Таблица 1б.** Параметры радиометров континуума вторичного зеркала №2 (трехчастотного комплекса «Эридан»).

$f_0$ (ГГц)	$\Delta f$ (ГГц)	$\Delta F$ (мЯн/beam)	$HPBW_x$ сек	AR угл. сек
22.3	2.5	95	1.5	16.5
11.2	1.0	30	2.1	23
4.7	0.6	10	4.8	53
2.25*	0.08	80	11	121

\* - в связи с неблагоприятной помеховой обстановкой радиометр работает в тестовом режиме с 2018 г.

**Таблица 1с.** Параметры приемного комплекса вторичного зеркала №5 РАТАН-600.

$B$ ГГц	$\Delta f$ МГц	$\Delta F$ мЯн/beam	$HPBW_x$ сек	AR угл. сек
4.40-4.55	150	10	3.2	35
4.55-4.70	150	10	3.2	35
4.70-4.85	150	10	3.2	35
4.85-5.00	150	10	3.2	35

Широкая полоса 600 МГц каждого радиометра разделена на 4 «узких» подполосы по 150 МГц. На выходе каждого «узкого» канала установлен квадратичный детектор. Регистрация ведется в режиме «радиометра полной мощности» (РПМ), так что радиометрический комплекс представляем собой 16 независимых РПМ. Разделение полосы 600 МГц на 4 подполосы позволяет измерять дисперсию радиоволн в межзвездной среде. Наличие такой дисперсии является признаком далекого радиоисточника (а не локальной помехи). Запись сигналов ведется с помощью штатной системы регистрации с частотой 16384 отсчета в секунду для каждого из 16 каналов. Четыре радиометра позволяют одновременно наблюдать 4 смежных участка неба, расширяя тем самым поле зрения в 4 раза. Радиометры установлены на вторичном зеркале №5 на Западном секторе РАТАН-600. Сектор установлен на фиксированной высоте по согласованию с

ответственным наблюдателем. На начало 2020 г. высота сектора соответствует склонению микроквара Cug X-3. Метод 3 может быть реализован только совместно и по согласованию с ответственными за методы САО РАН.

**Параметры антенны.** Угловое разрешение радиотелескопа зависит от высоты установки антенны. Его значение по склонению в три-четыре раза хуже, чем по прямому восхождению, из-за ножевой формы диаграммы направленности [5]. Предел обнаружения радиотелескопа порядка 5 мЯн (время накопления 3 сек) на 4.7 ГГц на средних углах при оптимальных условиях.

Радиотелескоп РАТАН-600 - телескоп с антенной переменного профиля [2-7], это значит, что и апертура и фокусное расстояние его антенн меняются в зависимости от высоты наблюдаемого объекта. Пределы изменения меняются по высоте от  $3.5^\circ$  до  $97^\circ$  (то есть возможен “засенитный” режим). Фокусное расстояние при этом меняется от 155 м от центра круга (фокусное расстояние, измеряемое от антенны, равно  $f=288-155=33$  м), до -40 м от центра ( $f=288+40=328$  м). При этом существенно меняется безаберрационная зона в фокусе вторичного зеркала: чем больше фокусное расстояние, тем меньше искажается фокальное “изображение” источника. Такие особенности геометрии антенн РАТАН-600 позволяют измерять спектральную плотность потока источника в одном положении антенны на Северном или Южном секторах, во всем диапазоне от 1.25 до 22.3 ГГц в течение 1–2 минут. Независимые наблюдения можно проводить на двух секторах антенны в трех конфигурациях: Северный сектор (элементы с номерами 487-712), Южный сектор (элементы с номерами 45-255), Южный сектор с Плоским отражателем (главное зеркало от 75-го до 225-го элемента и 80 элементов Плоского) Доступны следующие диапазоны склонений объектов:

(i) Северный сектор:  $-42^\circ < \text{DEC} < +50^\circ$  (на низких склонениях необходимо использовать режим “неподвижного” фокуса).

(ii) Южный сектор:

в верхней кульминации:  $+72^\circ < \text{DEC} < +90^\circ$ ,

в нижней кульминации:  $+49^\circ < \text{DEC} < +90^\circ$ .

(iii) Южный сектор с Плоским отражателем:  $-42^\circ < \text{DEC} < +71^\circ$ . Объекты с  $\text{DEC} > 71^\circ$  можно наблюдать только в режиме из пункта ii.

Наблюдения на Северном секторе (азимут  $0^\circ$ ) проводятся на радиометрическом комплексе вторичного зеркала №1. Количество установок на Северном секторе не должно превышать 85 шт. в сутки.

Наблюдения на Южном секторе и антенной системе “Южный сектор + Плоский отражатель” проводятся на радиометрических комплексах вторичных зеркал №2 и №3 (см. методы 2 и 4). На вторичном зеркале №2 реализуются наблюдения в азимутах  $180^\circ$  и  $0^\circ$ . На вторичном зеркале №3 реализуются симметричные многоазимутальные наблюдения относительно меридиана ( $A=0^\circ$ ). Количество установок при наблюдениях на системе “Южный Сектор + Плоский отражатель” не должно превышать 80 шт. в сутки.

Информацию по вторичным калибровочным источникам, а также специальным калибровочным источникам для низких углов РАТАН-600, можно получить из работ 8-10. Особенности зависимостей калибровочных коэффициентов от высоты установки антенны (калибровочных кривых) Р-600 представлены в работах [11-12].

## Литература

1. Tsybulev, P. G. New-Generation Data Acquisition and Control System for Continuum Radio-Astronomic Observations with RATAN-600 Radio Telescope: Development, Observations, and Measurements *Astrophysical Bulletin* **66** (1), 109-123 (2011), [2011AstBu..66..109T](#).
2. Khaikin S.E., Kaidanovskii N.L., Pariiskii I.U.N., Esepkina N.A, Radioteleskop RATAN-600, *Izvestiia Glavnoi astronomicheskoi observatorii v Pulkove*; no. 188, Leningrad: Izd. Glavnoi astronomicheskoi observatorii v Pulkove, 1972., p. 3-12 (1972), [1972IzPul.188....3K](#).
3. Stotskii A.A., Aberratsii glavnogo zerkala anteny peremennogo profilia i skanirovanie diagrammy napravlenosti putem smeshcheniia obluchatelia, *Izvestiia Glavnoi astronomicheskoi observatorii v*

- Pulkove; no. 188, Leningrad: Izd. Glavnoi astronomicheskoi observatorii v Pulkove, p. 63-76 (1972), [1972IzPul.188...63S](#).
4. Pariiskii I.U.N. and Shivris O.N., Metody radioastronomicheskogo ispolzovaniia RATAN-600, Izvestiia Glavnoi astronomicheskoi observatorii v Pulkove; no. 188, Leningrad: Izd. Glavnoi astronomicheskoi observatorii v Pulkove, p. 13-39 (1972), [1972IzPul.188...13P](#).
5. Pariiskii Yu.N., Shivris O.N., Korol'kov D.V., et al., The RATAN-600 radio telescope. Commencement of operation and study of first sector, Radiophysics and Quantum Electronics, Volume 19, Issue 11, pp.1099-1107 (1976), [1976R&QE...19.1099P](#).
6. Y. N. Parijskij, IEEE Antennas Propagation Magazine 35, 7 (1993), [1993IAPM...35....7P](#).
7. Korzhavin A.N., An investigation of VPA [variable profile antenna] depending on aperture illumination using the method of optical simulation, Astrofiz. Issled. Izv. Spets. Astrofiz. Obs., Tom 9, p. 53-70 (1977), [1977AISO...9...53K](#).
8. J.W.M. Baars, R. Genzel, I.I.K. Pauliny-Toth and A. Witzel, The absolute spectrum of CAS A - an accurate flux density scale and a set of secondary calibrators, A&A 61, 99-106 (1977), [1977A&A...61...99B](#).
9. M. Ott, A. Witzel, A. Quirrenbach et al., An updated list of radio flux density calibrators, A&A, 284, 331 (1994), [1994A&A...284..331O](#).
10. R.A. Perley and B.J. Butler, An accurate flux density scale from 1 to 50 GHz, Aph. J. Suppl. 204, article id. 19, 20 pp. (2013).
11. Udovitskiy R.Yu., Sotnikova Yu.V., Mingaliev M.G., et al., Automated data reduction system for observation with the RATAN-600, Astrophysical Bulletin, Volume 71, Issue 4, pp.496-505, 2016, [2016AstBu..71..496U](#).
12. Aliakberov K.D., Mingaliev M.G., Naugol'naya M.N., Determination of the flux densities of radio sources on the set of broadband continuous-spectrum radiometers for the RATAN-600 radio telescope, Bulletin of the Special Astrophysical Observatory - North Caucasus, Vol. 19, p. 59 – 65 (1985), [1985BSAO...19...59A](#).

4. Солнечный спектрально-поляризационный комплекс на частотах 3-18 ГГц на вторичном зеркале №3. **Метод 4: измерение интенсивности и поляризации радиоизлучения дискретных радиоисточников и Солнца в динамическом диапазоне до 60 дБ на частотах 3-18 ГГц.**  
**Ответственный за метод – А.А.Стороженко ([asc-work@mail.ru](mailto:asc-work@mail.ru))**

Назначение комплекса связано со значительным увеличением динамического диапазона с целью регистрации опорных источников в микроволновом диапазоне волн на уровнях как предельной для данной аппаратуры чувствительности, так и для регистрации максимально ярких радиоисточников на Солнце, достигающих миллионов градусов антенной температуры. Это достигнуто введением автоматических ослабителей на линии усиления сигналов по всем каналам комплекса. Комплекс может быть использован для разнообразных антенных измерений, в том числе и для мощных сигналов от геостационарных спутников. Комплекс установлен в 2016 г. в приемной кабине Облучателя №3 РАТАН-600 в антенной системе Южный сектор с Плоским отражателем для проведения многократных наблюдений динамики Солнца в азимутах и в режимах сопровождения. Реализован режим полной мощности с регистрацией правой и левой круговых поляризаций на всех каналах. Наблюдения на комплексе, экспресс-анализ и полная обработка наблюдений также реализованы в автоматическом режиме. Формат данных наблюдений согласован с существующей с 1995 г. базой данных наблюдений.

#### **Параметры комплекса:**

Частотный диапазон: 3.0 ГГц – 18 ГГц;

2 уровня частотного разрешения: 1-й уровень 80 каналов, ширина полосы 100 МГц, 2-й уровень 10 каналов, ширина полосы 1500 МГц;

Скорость регистрации: 0.0025 сек/112 каналов;

Шумовая температура: 300 К;

Динамический диапазон: > 60 дБ;

Межканальная развязка: > 20 дБ;  
Эллиптичность: (1-5)%;  
Ширина диаграммы рупоров во всем диапазоне: +- 60 градусов;  
Развязка между RH и LH поляризаций: > 20 dB;  
Смещение фазовых центров для RH и LH: 0.5 мм.

## Литература

1. Богод В.М., Стороженко А.А., Перваков А.А. Отчет об испытаниях комплекса с высоким динамическим диапазоном. Июнь-декабрь, 2016г
2. Богод В.М., Радиотелескоп РАТАН-600 в 24 цикле солнечной активности. I. Новые возможности и задачи, Астрофизический бюллетень 66, №2, с. 207 (2011).
3. Богод В.М., Алесин А.М., Перваков А.А. Радиотелескоп РАТАН-600 в 24 цикле солнечной активности. II. Многооктавный спектрально-поляризационный комплекс высокого разрешения для солнечных исследований, Астрофизический бюллетень 66, №2, с. 223 (2011).
4. Балдин С.В., Гараимов В.И., Радиотелескоп РАТАН-600 в 24 цикле солнечной активности. III. Система сбора данных и управления солнечным спектральным комплексом на РАТАН-600, Астрофизический бюллетень 66, №3, с. 400 (2011).
5. Тохчукова С.Х., Радиотелескоп РАТАН-600 в 24 цикле солнечной активности. IV. Информационная система наблюдений Солнца на РАТАН-600, Астрофизический бюллетень 66, №3, с. 409 (2011).