

**ВСЕРОССИЙСКАЯ
РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
(ВРК – 2025)**

18–22 августа 2025 г., Иркутск



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ПУЛЬСАРНЫЙ ТАЙМИНГ ПО ДАННЫМ С НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ВРЕМЕННОЙ ПРИВЯЗКОЙ

С.А. Андрианов, В.А. Потапов, С.А. Тюльбашев, С.В. Логвиненко, В.В. Орешко

Физический институт им. П.Н. Лебедева, Астрокосмический центр, Пущинская
радиоастрономическая обсерватория, Пущино, Московская обл., Россия,
andrianovs@prao.ru

Поиск пульсаров и вращающихся радиотранзиентов (RRAT) — один из приоритетных разделов наблюдательной астрономии. Расширение набора известных объектов позволяет исследовать как физику нейтронных звезд, так и свойства межзвездной среды. Пульсарный тайминг является частью таких исследований: методы тайминга позволяют с высокой точностью определить вращательные характеристики объекта и его координаты на небесной сфере.

В 2014 г. на радиотелескопе «Большая синфазная антенна» (БСА) начались ежедневные круглосуточные наблюдения. На телескопе за сутки проводится запись в площадке размером 17000 кв. град. в режиме 32 частотных каналов по 78 кГц и временем опроса точки 12.5 мс. В качестве локального стандарта времени мониторинговая система использует кварцевые частотные генераторы, обладающие неудовлетворительной для тайминга точностью привязки к шкале UTC. Такая реализация локального стандарта ограничивает возможности таймингового исследования открываемых на системе объектов.

Накопленный на БСА более чем десятилетний ряд является уникальным наблюдательным архивом, включающим наблюдения более четырехсот пульсаров и RRAT, в том числе почти 200 новых источников. Тайминг этих объектов значительно расширяет научные возможности этого ряда. В 2025 г. при использовании известных ярких пульсаров в качестве опорной шкалы времени нам удалось построить переход от локальной шкалы времени к UTC. К настоящему времени с использованием архивных данных был проведен тайминг 63 объектов, 12 из которых являлись пульсарами с неизвестными тайминговыми решениями и 2 — RRAT с периодами вращения 7 и 41 с.

Таким образом, нами была реализована система, позволяющая проводить тайминг открываемых объектов на 10-летнем ряде наблюдений. Ввиду большой длительности наблюдений получаемые вращательные параметры объектов позволяют оценивать физические параметры источников, а оценки координат — проводить быстрый поиск на антеннах, имеющих узкую диаграмму направленности.

СИНТЕЗ РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ СОЛНЦА МЕТОДОМ САМОКАЛИБРОВКИ ПО ДАННЫМ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА

С.А. Анфиногентов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, anfinogentov@iszf.irk.ru

Представлен метод калибровки комплексных коэффициентов усиления антенн (antenna gains) и синтеза радиоизображений Солнца по данным Сибирского радиогелиографа, основанный на использовании подхода самокалибровки. Такой подход позволяет выполнять калибровку без использования калибровочных источников с известными параметрами. Вместо этого строится модель наблюдаемого объекта, которая улучшается в течение нескольких итераций. Выбор модели играет важнейшую роль в успешном получении изображений. Для моделирования распределения радиояркости Солнца мы используем диск равномерной яркости и набор точечных источников. Такая модель хорошо описывает как

компактные радиоисточники активных областей и вспышек, так и протяженный диск спокойного Солнца.

В текущей реализации процесс калибровки и синтеза одного радиоизображения занимает несколько минут, в то время как за один час наблюдений СРГ записывает более пятидесяти тысяч сканов, которые позволяют синтезировать такое же количество изображений. В таких условиях индивидуальная калибровка и синтез всех изображений требует огромного количества вычислительных ресурсов. В качестве альтернативы предложена калибровка реперных изображений с интервалом несколько минут с последующей постобработкой и интерполяцией калибровочных коэффициентов. Этот подход позволяет в сотни раз уменьшить требования к вычислительным мощностям и дает возможность калибровать все записываемые данные наблюдений СРГ, включая наблюдения самых мощных вспышек, когда другие подходы не дают удовлетворительный результат.

ПЛАНИРОВАНИЕ, ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РСДБ-НАБЛЮДЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И.А. Арнаут, И.Ф. Суркис, В.Ф. Зимовский, А.С. Кумейко, С.Р. Павлов

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, arnaut@iaaras.ru

В ИПА РАН проводится разработка метода определения координат космических аппаратов методом радиоинтерферометрических наблюдений. Наблюдения выполняются с использованием РСДБ-комплекса «Квазар-КВО». РСДБ-метод обеспечивает высокоточное определение координат и траекторий космических аппаратов (КА).

В 2022–2024 гг. в ИПА РАН проводились РСДБ-наблюдения искусственных спутников Земли (ИСЗ) ГЛОНАСС в частотном диапазоне L1. Основная задача заключалась в верификации метода РСДБ-наблюдений КА и разработки алгоритмов анализа результатов корреляционной обработки.

Планирование наблюдений осуществлялось с помощью специально разработанной программы. Выполнялись наблюдений ИСЗ и опорных источников (квазаров).

Обработка наблюдений проводилась на программном корреляторе RASFX. Для вычисления геометрических, групповых и фазовых задержек, а также для визуального анализа реализованы соответствующие программные алгоритмы.

Анализ измеренных задержек проводился методом сравнения с предварительно вычисленными. Разность хода атомных стандартов времени станций была взята из наблюдений опорных квазаров. Для учета тропосферных эффектов применялась стандартная модель расчета тропосферной задержки, которая включает гидростатическую «сухую» и «влажную» компоненты. Гидростатическая задержка в зените рассчитывалась по модели Саастамойнена и пересчитывалась по лучу зрения при помощи карттрирующей функции Ниелля. Влажная задержка в зените бралась по измерениям радиометра водяного пара (РВП) и аналогично пересчитывалась по лучу зрения с использованием карттрирующей функции Ниелля с соответствующими коэффициентами. Ионосферная задержка учитывалась по модели VTEC (Vertical Total Electron Content).

Неоднозначность фазовой задержки разрешалась с помощью анализа невязок групповых и фазовых задержек.

Полученные результаты демонстрируют высокую точность и эффективность алгоритмов обработки и анализа РСДБ-наблюдений КА.

НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ РАДИОСПЕКТРОСКОПИИ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ В САО РАН

В.М. Богод, М.К. Лебедев, Н.Е. Овчинникова, А.М. Рипак, Е.А. Курочкин

Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН

Широкодиапазонные исследования короны Солнца является труднодоступной проблемой вследствие его большой физической температуры (более 10^6 K), низкой плотности корональной плазмы (10^{10} см⁻³) и большого диапазона измеряемых явлений (от нано-всплесков до мощных вспышек).

Несмотря на быстрое развитие технологий, такие исследования нуждаются в инструментарии с высокими предельными параметрами: пространственным разрешением, чувствительностью, частотным и временным разрешением, высоким динамическим диапазоном и др.

Такие требования трудно обеспечить, но даже реализация одного предельного параметра дает исследователям много новой информации.

Здесь мы сообщаем результаты спектроскопии Солнца на крупном радиотелескопе РАТАН-600, на котором уже испытана система с высочайшим относительным частотным разрешением (до 10^{-5}) в диапазоне 1–3 ГГц и получены новые данные. Находится также в испытаниях и частотный комплекс диапазона 3–18 ГГц. При этом основные параметры системы как по частотному разрешению, так и по динамическому диапазону во всех будущих комплексах сохраняются при перекрытии всего рабочего диапазона.

В докладе обсуждаются основные направления и пути перекрытия других диапазонов для задач солнечной физики.

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ КАРТИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 4.2 см

Ю.С. Бондаренко, Д.А. Маршалов, С.Р. Павлов, А.Л. Толстой

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, bondarenko@iaaras.ru

Одним из наиболее эффективных методов дистанционного исследования физических свойств поверхности и недр Луны является радиолокация. Метод заключается в освещении Луны радиолокационным сигналом, приеме отраженного сигнала (эхо-сигнала) и анализе его характеристик. При этом и излучатель, и приемник радиолокационного сигнала могут располагаться как на Земле, так и на космическом аппарате (КА) в различных бистатических конфигурациях. Наиболее простой конфигурацией с точки зрения ее реализации является наземное расположение передающей и приемной антенных систем, однако размещение одной или обеих таких систем на борту КА, находящегося на окололунной орбите, позволяет исследовать обратную сторону Луны, а также выбирать углы, под которыми будет освещаться ее поверхность. Основными преимуществами радиолокации по сравнению с наблюдениями, например в оптическом или инфракрасном диапазонах длин волн, являются чрезвычайно высокое разрешение получаемых изображений, не зависящее от атмосферы Земли, способность радиосигналов проникать вглубь реголита, наличие в эхо-сигнале информации о поляризационных свойствах рассеивающей поверхности, а также возможность исследования приполярных областей Луны, никогда не освещаемых Солнцем, в том числе и для поиска водяного льда. В работе приводятся особенности проведения радиолокационных наблюдений Луны на длине волны 4.2 см на базе действующих в России антенных систем, описывается метод получения радиолокационных изображений и способ их привязки к селенографическим координатам, представлены новые радиолокационные карты и поляриметрические данные поверхности Луны с пространственным разрешением ~90 м.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС РАДИОМЕТРА ВОДЯНОГО ПАРА

В.Ю. Быков, Г.Н. Ильин, А.М. Шишкин

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, bvu@iaaras.ru

С целью оперативного контроля параметров атмосферы, в том числе влажностной тропосферной задержки радиосигнала (ВТЗ) в обсерваториях РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» установлены радиометры водяного пара (РВП), измеряющие в режиме реального времени интегральное содержание водяного пара в столбе единичной площади (г/см^2) и водозапас облаков (кг/м^2). РВП работают непрерывно в автоматическом режиме с 2015 г. Анализ полученных за многолетний период данных позволил количественно оценить недостатки в работе РВП, а также наметить возможные пути их устранения. За последние два года была проделана большая работа по совершенствованию параметров РВП в части повышения устойчивости работы в неблагоприятных метеоусловиях (жидкие осадки), совершенствования конструкции узлов РВП и повышения стабильности параметров основных узлов РВП.

ПО управления РВП подверглось существенной доработке: была внедрена система автоматической калибровки РВП методом вертикальных разрезов, усовершенствован алгоритм расчета измеряемых параметров с учетом современного состояния спектральной теории переноса излучения в атмосфере и данных локальных станций аэрологического зондирования атмосферы, разработана новая версия интерфейса пользователя.

Проведенный комплекс мероприятий позволил поддерживать точность измерения ВТЗ на уровне не хуже 4 мм (СКО) и более чем в два раза сократить потери данных, вызванных осадками. ПО управления РВП обеспечило непрерывный контроль параметров узлов РВП и получаемых данных, а также своевременную выдачу сообщений на центральный пульт обсерватории об отклонениях от штатного режима работы узлов и систем АПК РВП.

Результаты проделанной работы нашли применение как в образцах РВП РСДБ комплекса «Квазар-КВО», так и в приборах последних версий, изготовленных для сторонних пользователей. Более детально результаты работы по совершенствованию АПК РВП представлены в докладе.

РАДИОТЕЛЕСКОП РТ-1.8 ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИНТЕНСИВНОСТИ И ПОЛЯРИЗАЦИИ СОЛНЕЧНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 10.7 СМ

**Ю.В. Векшин, В.Ю. Быков, Д.В. Ерофеев, М.Б. Зотов, А.С. Лавров,
Е.Ю. Хвостов, В.К. Чернов, А.М. Шишкин**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной астрономии Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия, yv.vekshin@iaaras.ru

Космическая погода, включая солнечные вспышки, геомагнитные возмущения, может оказывать значительное воздействие на различные сферы жизни: энергетические системы, спутники, связь, навигацию, авиацию, здравоохранение и обороноспособность страны. Мониторинг радиоизлучения Солнца чрезвычайно важен, поскольку позволяет оперативно получить информацию о солнечных вспышках и предупредить последствия корональных выбросов массы, достигающих Земли в течение одного-нескольких дней после возникновения вспышки.

В ИПА РАН создан радиотелескоп с диаметром зеркала 1,8 м (РТ-1.8) для мониторинга солнечной активности на длине волны 10,7 см. Радиотелескоп позволяет в автоматическом режиме производить калибровку, измерение, визуализацию и регистрацию дан-

ных об интенсивности и степени поляризации солнечного радиоизлучения с чувствительностью 0.2 с.е.п. с временным разрешением 0.1 с, что дает возможность отслеживать солнечную активность с высокой точностью. В конце 2022 года радиотелескоп был установлен в Уссурийской астрофизической обсерватории. С января 2023 года по настоящее время проводятся ежедневные наблюдения Солнца. В докладе представлены принцип работы, основные технические характеристики, методики калибровки радиотелескопа и результаты наблюдений.

МНГОВОВЛНОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЛАЗАРОВ НА ТЕЛЕСКОПАХ САО РАН

**В.В. Власюк¹, Ю.В. Сотникова¹, Д.О. Кудрявцев¹, А.Г. Михайлов¹, Т.В. Муфахаров¹,
М.Л. Хабибуллина¹, О.И. Спиридонова¹, Т.А. Семенова¹, Ю.А. Ковалев²,
А.Е. Вольвач³, Т. Ан⁴, М. Харинов⁵**

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Карачаево-Черкесия, Россия, vvlassao@gmail.com

²Астрокосмический центр ФИАН, Москва, Россия, ykovalev@asc.rssi.ru

³Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Россия, volvach@bk.ru

⁴Шанхайская астрономическая обсерватория Китайской академии наук, Шанхай, КНР, antao@shao.ac.cn

⁵Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, kharinov@iaaras.ru

В работе представлена программа многоволновых исследований выборки ярких радиосточников, проводимых в основном на телескопах Специальной астрофизической обсерватории РАН (САО РАН) — радиотелескопе РАТАН-600, оптических рефлекторах 1 м и 0.5 м с привлечением данных, получаемых на инструментах Крымской астрофизической обсерватории РАН, Института прикладной астрономии РАН и Санкт-Петербургского государственного университета. Использование доступных архивных данных других диапазонов позволяет проводить исследование характера переменности блазаров в широком спектральном диапазоне на временной шкале от часов и дней до нескольких десятков лет. Оптическая спектроскопия на 6-метровом телескопе БТА позволяет дополнить физическую картину переменности активных галактических ядер данными об их окружении и свойствах родительских галактик. Данные для нескольких объектов выборки проанализированы с использованием инструментов, адаптированных для анализа временных рядов с неравномерным шагом и пропуском данных — структурных функций, периодограмм Ломба — Скаргла и вейвлет-анализа. Результаты исследования готовятся к печати, для части объектов они уже опубликованы. Обсуждаются как полученные результаты для ряда объектов (размеры областей излучения, возможная квазипериодичность блеска), так и перспективы расширения перечня используемых методов, включая анализ быстрой временной переменности в оптическом диапазоне и получение радиоинтерферометрических данных для уточнения представлений о причинах наблюдаемой в излучении блазаров нестационарности блеска.

КОРРЕКЦИЯ НАВЕДЕНИЯ АНТЕНН СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА

М.В. Глоба, А.В. Губин, С.В. Лесовой

Институт солнечно-земной физики, Иркутск, Россия globa@iszf.irk.ru

Для радиоинтерферометров точность наведения антенн крайне важна, поскольку отклонение направления максимума диаграммы направленности от источника не только снижает уровень сигнала, но и приводит к неверному измерению фаз видностей. Эти ис-

кажения не поддаются коррекции на этапе обработки данных и снижают динамический диапазон изображений. При ошибке наведения 10 угл. мин ошибка в определении фазы видности, соответствующей самым коротким антенным базам, будет составлять несколько градусов, что на порядок выходит за пределы требуемой точности. Суть метода измерений заключается в определении отклонения направления максимума диаграммы направленности от центра Солнца для разных значений углов азимута и высоты и фитирование полученной зависимости моделью, разработанной для альт-азимутальных монтировок. Модель позволяет определить отклонение оси опорно-поворотного устройства от направления в зенит, неортогональность осей азимута и высоты, вынос облучателя по азимуту, константы по азимуту и высоте, фиксирующие настройки энкодеров. Механическая юстировка этих параметров с заданной точностью невозможна, поэтому коррекция проводилась путем внесения поправок на каждый момент времени для каждой антенны. С помощью предложенной методики удалось добиться точности наведения антенн ~2-3 угл. мин.

**ЯРКОСТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЭЛЕКТРОННЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ
ОБЛАСТЕЙ СОЛНЦА, ОТКРЫТЫХ ВО ВРЕМЯ НАБЛЮДЕНИЯ
МАКСИМАЛЬНОЙ ФАЗЫ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 29.03.2006 Г.
В САНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН**

Голубчина О.А.

Специальная астрофизическая обсерватория, Россия, golubchina_olga@mail.ru

В работе представлено исследование источников радиоизлучения северной полярной областей Солнца и северо-западного лимба Солнца, открытых во время наблюдений максимальной фазы ($\Phi = 0.998$) солнечного затмения 29.03.2006 г. в сантиметровом диапазоне длин волн 1.03–30.7 см на радиотелескопе РАТАН-600. При обработке наблюдений использовалось моделирование радиоизлучения Солнца и Луны в предположении круговой симметрии распределения яркостных температур радиоизлучения в атмосфере Солнца и Луны. Обсуждаются полученные распределения яркостной температуры, электронной концентрации радиоизлучения этих областей с удалением от центра оптического диска Солнца. Представленные распределения яркостных температур свидетельствуют о возможной нижней границе формирования солнечного ветра от этих областей Солнца во время наблюдения максимальной фазы солнечного затмения 29.03.2006 г. на радиотелескопе РАТАН-600.

**СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА РАДИОТЕЛЕСКОПАХ
РТ-32 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ
РСДБ-КОМПЛЕКСА «КВАЗАР-КВО»**

С.А. Гренков, В.А. Шантырь, Ю.В. Векшин

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, vashantyr@iaaras.ru

Для оценки помеховой обстановки в обсерваториях на радиотелескопах радиоинтерферометрического комплекса «Квазар-КВО» с помощью рупорной антенны выполняется постоянный мониторинг помех и принимаются меры технического и административного характера для минимизации их влияния на качество проводимых РСДБ-наблюдений.

Авторами данной работы предложен и описан способ использования аппаратно-программных средств многофункциональной цифровой системы преобразования сигналов (МСПС) и программного РСДБ-коррелятора RASFX для контроля качества работы аппаратуры приёмно-преобразующих трактов радиотелескопов РТ-32.

Для получения дополнительной информации о характеристиках приёмно-регистрирующего тракта каждого радиотелескопа во время проведения регулярных РСДБ-наблюдений по программе R_i параллельно штатной узкополосной системе регистрации Р1002М подключили МСПС для обеспечения регистрации широкополосных спектров сигналов промежуточной частоты.

Предложенный способ может применяться для оценки помеховой обстановки, качества и стабильности амплитудно-частотных характеристик РСДБ-аппаратуры приёмных трактов радиотелескопов, наличия/отсутствия нелинейных искажений, других паразитных эффектов, приводящих к потерям мощности сигналов наблюдений и уменьшению отношения сигнал/шум, прямо или косвенно влияющих на качество проведения РСДБ-наблюдений и результаты их корреляционной обработки.

Приведены результаты исследований приёмно-преобразовательных трактов радиотелескопов станций «Бадары», «Светлое» и «Зеленчукская» в X- и S-диапазонах частот.

КАЛИБРОВКА РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В.В. Гречнев, А.А. Кочанов, В.И. Киселев

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, grechnev@iszf.irk.ru

Наблюдения Солнца на многоволновом Сибирском радиогелиографе (СРГ) открывают обширные возможности исследований стационарной атмосферы Солнца и его активности. Высокая чувствительность и широкий динамический диапазон СРГ позволяют изучать как мощные вспышки, так и малозаметные проявления солнечной активности — например микровспышки и микроэрупции. Важными компонентами обработки наблюдений являются методики калибровки данных СРГ по яркостным температурам и потокам, позволяющие реализовать диагностический потенциал радиогелиографа. Одной из таких методик является калибровка радиоизображений по гистограмме распределения яркости в них. Методика применима при наличии в изображении достаточно обширных областей неба и солнечного диска и позволяет статистически соотнести инструментальные единицы на изображении с яркостными температурами. Это обеспечивает калибровку независимо от стабильности аппаратуры и в отсутствие опорных источников, что позволяет использовать её в дополнение к другим способам калибровки.

Основа методики использовалась для калибровки изображений радиогелиографа Нобеля для частоты 17 ГГц. Затем методика была доработана для Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ) для частоты 5.7 ГГц, на которой более значим вклад неоднородностей солнечной атмосферы. В докладе представлен следующий шаг в развитии метода — калибровка радиояркостности и радиопотока во всем диапазоне частот СРГ 3–24 ГГц. Построены частотные зависимости яркостной температуры, потока радиоизлучения и радиорadiusа спокойного Солнца, аппроксимирующие известные измерения и модели и учитывающие недавние данные, полученные в обсерватории ALMA в миллиметровом диапазоне. Эти зависимости полезны как для дальнейшего развития методик калибровки данных СРГ, так и для решения ряда других задач солнечной физики.

МЕТОДИКА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БЫСТРЫХ ВОЛНОВЫХ ПАКЕТОВ В СОЛНЕЧНЫХ РАДИОДАННЫХ

В.А. Дмитриев¹, Е.Г. Куприянова²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,
st069138@student.spbu.ru¹

² Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук, Россия,
elenku@bk.ru²

Наблюдения некоторых солнечных вспышек в радиодиапазоне показывают наличие быстрых волновых пакетов, вейвлет-спектр которых имеет характерный вид головастика. Согласно результатам численного моделирования, опубликованным в литературе, волновые пакеты позволяют оценить пространственные и временные масштабы и энергетику импульсных процессов. Однако заложенный в них диагностический потенциал еще не до конца реализован из-за ограниченной выборки зарегистрированных случаев. В данной работе поставлена задача автоматического детектирования волновых пакетов на большом объеме радиоданных. Для ее решения создана классифицирующая нейросеть. Ввиду дефицита реальных данных для обучения нейросети была сгенерирована обучающая выборка синтетических кривых блеска солнечных вспышек. В докладе представлен прототип автоматической системы детектирования волновых пакетов, показана апробация системы на примерах реальных событий в радиодиапазоне и рассмотрены перспективы применения на больших объемах данных.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНСАМБЛЯ МОДЕЛЕЙ CLIP, EFFICIENTNET И CATBOOST

Я.И. Егоров

Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия, egorov@iszf.irk.ru

Сибирский радиогелиограф (СРГ) — наземный радиоинтерферометр, расположенный в Иркутске (Россия) и предназначенный для высокоточных наблюдений Солнца в микроволновом диапазоне. Он позволяет наблюдать динамические солнечные события с пространственным разрешением 7–30 угл. сек и временным разрешением до 0.1 с.

Формирование радиоизображений Солнца с помощью СРГ представляет собой многоэтапный процесс калибровки, который корректирует инструментальные и атмосферные искажения, с использованием калибровки на основе избыточности как со смежными, так и несмежными парами антенн.

Хотя процесс калибровки в целом улучшает качество изображений, иногда он может приводить к получению зашумленных или пространственно смещенных изображений, непригодных для научного использования. Мы разработали метод глубокого обучения для автоматической классификации качества изображений. Обучающий набор данных был подготовлен с использованием модели CLIP и затем проверен вручную. Мы оценили четыре различные модели: дообученную EfficientNet, два варианта CatBoost с использованием встраивания CLIP и EfficientNet, а также ансамблевую модель, объединяющую прогнозы всех трёх отдельных моделей. Наилучшие результаты показала ансамблевая модель.

Сервис ежедневной классификации изображений SRH был создан и доступен онлайн (<https://forecasting.iszf.irk.ru/srh>) вместе с API, содержащим примеры на IDL и Python. Интеграция ансамблевой модели в рабочий процесс генерации и калибровки изображений SRH может повысить надёжность изображений и сократить количество низкокачественных записей в каталоге данных SRH.

ПРОЕКТ РАДИОАСТРОН. МОНИТОРИНГ И КАЛИБРОВКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРТ: ГЕНЕРАТОРА ШУМА (ГШ) И СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ СИСТЕМЫ КРТ (SEFD) В ДИАПАЗОНЕ 1.35 см В 2011-2019 ГГ.

А.Н. Ермаков¹, Ю. А. Ковалев¹, П.А. Войцик¹, М.М. Лисаков²

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия

²Max Planck Institute for Radio Astronomy (MPIfR), Bonn, Germany

Космический радиотелескоп (КРТ) «Радиоастрон» — международный проект наземно-космического РСДБ на длинах волн 1.35, 6.2, 18 и 92 см с диаметром антенны 10 м. Проект был запущен 18 июля 2011 г. и действовал в конфигурациях со многими наземными радиотелескопами до 10 января 2019 г. За это время было выполнено ~5000 сеансов РСДБ и 300 юстировочных калибровочных наблюдений. В данной работе представлены результаты мониторинга одних из основных параметров КРТ «РадиоАстрон» — генератора шумового сигнала и собственных шумов системы КРТ за все время работы в полете в 2011–2018 гг. в диапазоне 1.35 см. Параметры КРТ собирались с юстировочных сеансов относительно четырех основных астрономических калибраторов: Кассиопея-А, Крабовидная туманность, Лебедь-А, Дева-А. Обработка сеансов проводилась с помощью автоматизированной системы, которая ранее успешно была апробирована на аналогичной обработке в диапазонах 6, 18 и 92 см за 2011–2019 гг. По результатам обработки диапазона 1.35 см. подтверждена гипотеза о дрейфе мощности некоторых ГШ. Применена новая методика поверки шкал спектральной плотности потока.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ПОИСКЕ ГИГАНТСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

О.П. Желенкова¹, М. Хоруженко²

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз

²Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Радиоисточники размерами $>4'$ представляют особый интерес в части разделения излучения радиоисточников и вклада в угловой спектр мощности микроволнового фона. Гигантские радиогалактики (ГРГ) >0.7 Мпс также могут отличаться большими угловыми размерами. Интерес к ГРГ связан с объяснением больших размеров, достигающих размеров скопления галактик, с эволюцией радиоисточников и свойствами сверхмассивных черных дыр активного ядра галактики. Если в начале 2000-х гг. было известно ~200 ГРГ, в настоящее время их известно более 11500, в основном в области покрытия LOFAR Two-metre Sky Survey (LoTSS).

Мы провели детальное обследование источников каталога NVGRC кандидатов в гигантские радиоисточники. Этот каталог, включающий 1616 объектов, создан Деборой Проктор (2016ApJS..224...18P) на основе каталога NVSS с применением алгоритма распознавания образов ИИ, реализованного в программном пакете Oblique Classifier One (OC1).

NVGRC-кандидаты были обследованы на предмет их принадлежности к ГРГ. Для этого мы использовали радиообзоры GLEAM, TGSS, RACS, VLASS для распознавания морфологии NVGRC-источника, оптические и инфракрасные обзоры LS, DES, UKIDSS, WISE — для отождествления родительских галактик, базы данных Vizier, NED, NOAO DataLab — для поиска красных смещений. Провести эту работу было бы невозможно без средств виртуальной обсерватории.

Мы визуальнo обследовали 370 NVGRC-источников в интервале прямых восхождений $00^h00^m-05^h20^m$. Из них было подтверждено 198 ГРГ (48 %), причем 72 источника были ранее известны как ГРГ, 24 % оказались источниками с линейными размерами <0.7 Мпк и

26 % — физически не связанными системами, объединенными алгоритмом распознавания в один радиоисточник. Таким образом, мы подтвердили 126 новых ГРГ, обнаружив, что приблизительно половина из 370 NVGRC-кандидатов являются ГРГ. Тем самым мы определили, что эффективность алгоритма распознавания ГРГ, примененного для каталога NVGRC, составляет ~50 %.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТ L1, L2, L3

А.С. Завгородний

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ВНИИФТРИ), Менделеево Московской обл., Россия, zavgor@vniiftri.ru

В эпоху бурного развития технологий глобальных навигационных спутниковых систем растут требования к их метрологическому обеспечению, одной из задач которого стал регулярный мониторинг энергетических и спектральных характеристик сигналов навигационных космических аппаратов. Для решения этой задачи был разработан и в настоящее время эксплуатируется измерительный комплекс, основой которого стали две крупноапертурные антенные системы с диаметрами рефлекторов 12 м. Метрологические характеристики результатов измерений непосредственно связаны с качеством калибровки полного коэффициента усиления приёмных антенн.

В качестве источника калибровочного сигнала для определения характеристик антенн выбрано радиоизлучение Солнца. Помимо очевидных достоинств, такой выбор не лишен недостатков: отсутствуют измерения энергетических характеристик радиоизлучения Солнца на несущих частотах навигационных сигналов, измерения проводятся с недостаточной оперативностью, обсерватории находятся в других широтах и пр. По этим причинам потребовалась разработка специализированного комплекса, предназначенного для проведения оперативных измерений мощности солнечного радиоизлучения в интересах калибровки крупноапертурных антенных систем.

Исследована математическая модель комплекса. Его основой станет зеркальная антенная система с диаметром рефлектора 5 м, местоположение — территория ВНИИФТРИ (Московская обл.). Шумовая добротность антенной системы составит не менее $13 \text{ дБ} \cdot \text{К}^{-1}$, что означает прирост полезного сигнала на выходе антенны, по крайней мере, 10 дБ в диапазонах частот L1, L2, L3.

В настоящее время ведётся конструирование основных узлов комплекса.

ПЕРСПЕКТИВЫ НАЗЕМНОЙ СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ АСТРОНОМИИ

И.И. Зинченко^{1,2}

¹Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия, zin@ipfran.ru

²Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Миллиметровая и субмиллиметровая астрономия является важнейшим инструментом исследования различных астрофизических объектов и явлений. Во-первых, это изучение «холодной» Вселенной. В основном это плотные межзвездные газопылевые облака, как в нашей Галактике, так и за ее пределами. В этих облаках происходит процесс звездообразования, многие аспекты которого до сих пор не вполне понятны. Пик их излучения

лежит в субмиллиметровом диапазоне. К этой же категории можно отнести исследования микроволнового реликтового фона, температура которого составляет ~ 2.73 К. Другой класс задач, где миллиметровая и субмиллиметровая астрономия играет ключевую роль, — исследования далеких астрономических объектов с очень высоким угловым разрешением методами радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами. Важно то, что рассеяние в межзвездной среде в данном диапазоне падает с укорочением длины волны. Это позволило получить изображения сверхмассивных черных дыр в галактике М87 и в центре нашей Галактики. В настоящее время в мире реализуется и обсуждается ряд проектов создания новых наземных инструментов данного диапазона. В России также рассматриваются различные варианты строительства таких антенн. Ведется разработка высокочувствительной приемной аппаратуры. Активно идет работа по выбору возможных мест размещения субмиллиметровых телескопов. В докладе представлен обзор соответствующих работ. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 23-72-00041).

РАДИОТЕЛЕСКОП ПЕРЕДВИЖНОЙ РСДБ-СТАНЦИИ КОМПЛЕКСА «КВАЗАР-КВО»

М.Б. Зотов, Д.В. Иванов, А.В. Вытнов, В.Г. Стэмпковский, Е.Ю. Хвостов

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, zmb@iaaras.ru

В работе представлены результаты разработки новой передвижной РСДБ-станции для комплекса «Квазар-КВО». Станция состоит из полноповоротного радиотелескопа и аппаратного контейнера, смонтированных на единой платформе, позволяющей осуществлять оперативное перемещение станции без полной разборки. Антенная система радиотелескопа передвижной станции выполнена по двухзеркальной схеме. Двухдиапазонная S/X приемная система выполнена по классической схеме супергетеродинного приемника с охлаждаемыми малошумящими входными трактами и облучателем. Приемная система состоит из двухдиапазонного криогенного приемного фокального блока, блоков, предназначенных для преобразования частот, и блока генерации калибровочных шумовых сигналов.

Передвижная РСДБ-станция оснащена системой частотно-временной синхронизации, основанной на пассивном стандарте частоты и времени. В качестве системы регистрации применена шестиканальная широкополосная система преобразования сигналов с модулем сопряжения.

Разработка новой передвижной РСДБ-станции комплекса «Квазар-КВО» была завершена в 2024 г. В докладе представлены результаты первых радиометрических и радиоинтерферометрических наблюдений и основные характеристики радиотелескопа.

РАДИОТЕЛЕСКОПЫ КОМПЛЕКСА «КВАЗАР-КВО»: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Д.В. Иванов, А.В. Ипатов

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, dvi@iaaras.ru

Действующие радиотелескопы комплекса «Квазар-КВО» РТ-13 и РТФ-32 диаметрами 13 и 32 м расположены на северо-западе (обсерватория «Светлое»), Кавказе (обсерватория Зеленчукская) и в Сибири (обсерватория «Бадары»). На Дальнем Востоке (Уссурийская астрофизическая обсерватория) строится четвертый 13-метровый радиотелескоп.

Оборудование радиотелескопов позволяет проводить наблюдения в режиме как

РСДБ, так и одиночного радиотелескопа. В настоящее время радиотелескопы РТФ-32 участвуют в астрофизических программах наблюдений и международных геодезических сеансах, радиотелескопы РТ-13 в основном работают для оперативного определения всемирного времени.

Аппаратно-программный комплекс РТФ-32 в последние годы был модернизирован, что позволило повысить достоверность получаемых результатов.

В докладе приводятся текущие характеристики радиотелескопов, подробно представлен ход создания радиотелескопа на Дальнем Востоке.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОЙ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ СОЛНЕЧНЫХ РАДИОВСПЛЕСКОВ II ТИПА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ РАДИОСПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРА 50–3000 МГц ИСЗФ СО РАН

Е. Иванов¹, А. Степанов^{2,3}

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, ivanoff@iszf.irk.ru

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия,
stepanov@gaoran.ru

³Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия,
astep44@mail.ru

Исследованы радиовсплески II типа, генерируемые ударными волнами при солнечных вспышках и зарегистрированные во второй половине 2024 г. и в начале 2025 г. радиоспектрополяриметром 50–3000 МГц ИСЗФ СО РАН. Особое внимание уделено изучению тонкой частотно-временной структуры всплесков, к которой относятся частотное расщепление гармоник и структура herringbone, образованная ускоренными в ударных волнах электронами. Рассмотрены возможные механизмы появления энергичных электронов: дрейфовое и серфотронное ускорения, адиабатический нагрев. Из сравнения потоков излучения всплесков II типа на основном тоне и гармонике оценен уровень ленгмюровской турбулентности, определены параметры плазмы в источниках всплесков и параметры электронных пучков, ответственных за генерацию herringbone.

СОЛАРСПЕЛ — КОМПЛЕКС РАДИОСПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Е.Ф. Иванов, С.В. Лесовой, А.В. Губин

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, ivanoff@iszf.irk.ru

В конце 2023 г. был введен в эксплуатацию многоволновый Сибирский радиогелиограф (СРГ) — современный радиоинтерферометр для мониторинга солнечной активности. СРГ предназначен для непрерывного построения радиокарт Солнца на 48 частотах в диапазоне 2.8–24 ГГц с пространственным разрешением от 7 до 30 угл. сек. Проект строительства СРГ включал в себя ввод в эксплуатацию вспомогательных инструментов — радиоспектрополяриметров интегрального потока. Комплекс солнечных радиоспектрополяриметров (СОЛАРСПЕЛ) включает в себя два спектрополяриметра диапазонов 50–3000 МГц и 3–24 ГГц. Целью использования спектрополяриметров является расширение данных радиогелиографа дополнительными измерениями в спектральной и временной областях. В докладе показаны возможности комплекса спектрополяриметров для изучения событий солнечной активности. Приведено сравнение данных спектрополяриметра 50–3000 МГц с данными других инструментов, работающих в метровом диапазоне радиоволн.

КРАБОВИДНАЯ ТУМАННОСТЬ КАК СТАНДАРТНЫЙ ИСТОЧНИК РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

В.П. Иванов, А.В. Ипатов, И.А. Рахимов, Т.С. Андреева, С.А. Гренков

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

Крабовидная туманность (ЗС144, ТауА) — один из четырех наиболее сильных источников радиоизлучения. Это молодой остаток сверхновой (ОСН) SN 1054, радиоизлучение которого считается подробно изученным и широко используется в качестве стандарта при измерениях интенсивности радиоастрономических объектов. Публикации, содержащие данные о потоках ТауА на радиочастотах, многочисленны, однако надо отметить разброс данных, что связано с различием методов измерений и шкал потоков. Крабовидная туманность может служить хорошим стандартом шкалы потоков при точном определении ее спектра и переменности.

Шкала потоков «искусственная луна» (ИЛ) основана на абсолютных измерениях по методу ИЛ и контроле формы спектров стандартных источников методом относительных спектров. Показано, что только шкала потоков ИЛ адекватно представляет спектры объектов.

В 2017–2025 гг. были многократно измерены спектры стандартного источника шкалы потоков ИЛ Крабовидной туманности. Измерения выполнены на радиотелескопе РТ-32 обсерватории «Светлое» ИПА РАН относительно первичного стандарта шкалы потоков ИЛ ЗС295 на частотах 2370, 4840, 8450 МГц. В процессе измерений для устранения влияния помех использовалась многофункциональная система преобразования сигналов в режиме радиометрического модуля со спектральной селекцией помех в полосе до 1024 МГц.

Получены данные о плотностях потоков Крабовидной туманности на интервале времени 2017–2025 гг.

Плотности потоков радиоизлучения молодого ОСН ТауА со временем испытывают вековое уменьшение.

Приведены данные о спектрах Крабовидной туманности и скорости уменьшения потока на временном интервале 2017–2025 гг.

КОМПЛЕКС ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ ОБСЕРВАТОРИИ «СВЕТЛОЕ» КОМПЛЕКСА «КВАЗАР-КВО»

А.В. Исаенко¹, И.А. Рахимов²

¹Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, isaenko@iaaras.ru

²Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, rahimov@iaaras.ru

Радиоастрономическая обсерватория комплекса «Квазар-КВО» — многофункциональный и сложный инженерно-технический объект научной инфраструктуры страны. За последнее десятилетие обсерватория трансформировалась в колокационный центр, запущены в эксплуатацию квантово-оптическая система «Сажень-ТМ» и радиотелескоп РТ-13. Все инструменты наблюдений должны быть обеспечены эффективными современными средствами управления, обеспечения и контроля, работающими в автоматическом режиме.

В обсерватории «Светлое» с 2012 г. ведется успешная работа по созданию и развитию комплекса диспетчеризации и контроля (КДК). КДК состоит из систем автоматизированного управления объектами жизнеобеспечения обсерватории, систем подготовки и обеспечения выполнения наблюдений, систем сбора данных критически важных объектов обсерватории и системы визуализации и архивирования данных работы комплекса. На начальном этапе были созданы автоматизированные системы управления общим жизне-

обеспечением обсерватории, затем системы подготовки приемной аппаратуры РТ-32, наконец, апогеем данной работы является автоматизация сбора данных и управления электроприводом РТ-32.

В работе описываются этапы создания КДК, его функционирование в автоматическом режиме, организация архивирования данных комплекса и основные достижения работы комплекса. Приводится описание составных частей комплекса, интерфейсов взаимодействия и алгоритмов управления оборудованием обсерватории.

РАННЯЯ СТАДИЯ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В МИКРОВОЛНАХ

Л.К. Кашапова¹, А.Д. Жмуркина¹, Д.В. Рожкова¹, М.Ю. Бауман²

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, lk@iszf.irk.ru

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Процессы, происходящие на ранних стадиях развития солнечной вспышки, могут дать ключ к пониманию всего события. Однако именно в этот период развития поток электронов, отвечающих за перенос энергии, может быть слишком низким для формирования однозначного отклика в привычных для исследования вспышек диапазонах. В этом случае микроволновое излучение дает возможность обнаружить появление электронов на ранних стадиях развития вспышки и сделать вывод об ускоренной или тепловой их природе. Мы представляем примеры проявления различных процессов и механизмов, наблюдавшихся на Сибирском радиогелиографе, на ранних стадиях развития вспышек. Обсуждается возможная связь между особенностями начала события и сценарием вспышки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00315, <https://rscf.ru/project/24-22-00315>.

ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОГО РАДИОСПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРА (СРСП)

Г.В. Койнаш¹, И.Н. Шарыкин¹, И.В. Зимовец¹, Е.Ф. Иванов^{2,1}

¹ Институт космических исследований РАН, Москва, Россия, srsp@cosmos.ru

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

В работе представлен опыт ввода в эксплуатацию солнечного радиоспектрополяриметра ИКИ РАН (СРСП), установленного в Специальной астрофизической обсерватории РАН. Описаны ключевые этапы настройки комплекса, особенности его архитектуры и интерфейсов управления. Обсуждаются проведенные технические испытания, а также первые научные наблюдения, подтвердившие работоспособность системы в широком диапазоне частот от 50 МГц до 24 ГГц. Особое внимание уделено вопросам синхронизации, обработки спектрополяриметрических данных и интеграции комплекса в существующую инфраструктуру солнечных наблюдений. Доклад содержит выводы о потенциале СРСП для дальнейших исследований солнечной активности и радиофизических процессов в атмосфере Солнца, а также о технологических возможностях АО «НПФ «Микран» в развитии современной отечественной радиоастрономии.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ «РАДИОГЕЛИОГРАФ»

Н.А. Колядин¹, О.Ю. Сваровский², М.Е. Ровкин³, С.В. Лесовой⁴

¹Акционерное общество «Научно-производственная фирма «Микран», Томск, Россия, koliadin.na@micran.ru

²Акционерное общество «Научно-производственная фирма «Микран», Томск, Россия, oleg@micran.ru

³Акционерное общество «Научно-производственная фирма «Микран», Томск, Россия, rovkin@micran.ru

⁴Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, svlesovoi@gmail.com.ru

Комплекс технических средств «Радиогелиограф» расположен на территории Радио-астрономической обсерватории ИСЗФ СО РАН и является современной модернизацией Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ).

Разработка комплекса началась в 2015 г. с учетом требований ученых ИСЗФ СО РАН и возможностей современной электронной компонентной базы и технологической баз АО «НПФ «Микран».

При плотном сотрудничестве специалистов АО «НПФ «Микран» и ученых ИСЗФ СО РАН был определен облик системы, схема деления, а также состав основных узлов комплекса и их технические характеристики.

Комплекс технических средств «Радиогелиограф» состоит из четырех независимых инструментов, образующих широкополосный солнечный радиотелескоп:

- многоантенный радиоинтерферометр с полосой приема 3–6 ГГц, состоящий из 129 антенных постов с зеркальной антенной системой диаметром 3 м;
- многоантенный радиоинтерферометр с полосой приема 6–12 ГГц, состоящий из 192 антенных постов с зеркальной антенной системой диаметром 2 м;
- многоантенный радиоинтерферометр с полосой приема 12–14 ГГц, состоящий из 207 антенных постов с зеркальной антенной системой диаметром 1 м;
- спектрограф (спектрополяриметр) метрового, дециметрового и сантиметрового диапазонов частот, состоящий из четырех антенных постов, принимающих сигнал в диапазоне от 50 МГц до 24 ГГц;
- системы управления, сбора и обработки данных.

Представлены особенности построения комплекса, его технические решения, а также принцип работы и полученные за время эксплуатации результаты.

ТЕСТИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ РСДБ-ДАННЫХ RT-13 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОРРЕЛЯТОРА DiFX В ИНФРАСТРУКТУРЕ ОБЛАЧНОГО ПРОВАЙДЕРА

А.М. Кононов , И.А. Безруков , А.Е. Мельников

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, iaaras@iaaras.ru

Рассматривается возможность развёртывания программного коррелятора DiFX в инфраструктуре облачного провайдера и обработки на нём данных, полученных с радиотелескопов RT-13 РСДБ-комплекса «Квазар-КВО». Предлагаемый подход основан на последовательной обработке скан за сканом данных часовой сессии с параллельной корреляцией потоков внутри каждого скана, что позволяет существенно снизить требования к объёму

локального хранилища. Ранее аналогичная схема была опробована при обработке часовых РСДБ-сессий на радиотелескопах РТ-32, оснащённых узкополосной системой преобразования сигналов Р1002. Радиотелескопы РТ-13 оборудованы широкополосной системой преобразования сигналов (ШСПС), обеспечивающей полосу 512 МГц и тем самым компенсирующей снижение чувствительности из-за меньшего диаметра антенны (13 м против 32 м для РТ-32). При таких наблюдениях объём данных резко возрастает: два широкополосных канала формируют поток ~4 Гбит/с (~600 Гбайт за часовую сессию), тогда как восемь узкополосных каналов РТ-32 генерируют лишь ~0.5 Гбит/с (~70 Гбайт за час). Для обработки столь крупных массивов применяется конвейерная схема: скан загружается, коррелируется, исходные файлы удаляются, и цикл повторяется. В статье приведены результаты тестирования этого решения в облаке и показана его целесообразность как резервного механизма для быстрого развёртывания вычислительных мощностей в нештатных ситуациях или при перегрузке основного коррелятора.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

Д.В. Кратов, П.Г. Цыбулев, Н.А. Нижельский, Р.Ю. Удовицкий

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия, Нижний Архыз

Представлен анализ электромагнитной обстановки на радиотелескопе РАТАН-600. Электромагнитное излучение от активных радиослужб, нарастая со временем, создает сложности при радиоастрономических наблюдениях. Особенно сложная ситуация наблюдается в дециметровом диапазоне. Значительная часть этого диапазона РАТАН-600 становится недоступной для радиоастрономических исследований из-за электромагнитных помех.

Вместе с тем сохранение многочастотности такого многоцелевого инструмента, как РАТАН-600, весьма важно для большинства астрофизических задач. Рассмотрены основные типы и направления радиочастотных помех на РАТАН-600, которые необходимо учитывать при разработке новых радиометрических систем. Представлен анализ перспективных источников радиочастотных помех для РАТАН-600.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА

А.А. Кузнецов

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, a_kuzn@iszf.irk.ru

Механизм нагрева солнечной короны до температуры несколько миллионов градусов остаётся одной из нерешённых проблем солнечной физики. Тепловое микроволновое излучение солнечных активных областей генерируется за счёт гирорезонансного механизма в мощных магнитных полях над солнечными пятнами и является одним из наиболее перспективных средств исследования магнитных полей и плазмы в короне. Сибирский радиогелиограф (СРГ) благодаря высокой чувствительности является уникальным инструментом, позволяющим наблюдать микроволновое излучение солнечных активных областей в широком диапазоне частот с высоким пространственным и временным разрешением.

В докладе представлены результаты анализа наблюдений восьми активных областей, выполненных на СРГ в 2022–2024 гг. в диапазоне частот 6–12 ГГц. Проведено численное моделирование микроволновых изображений на основе различных моделей нагрева короны,

в результате были определены параметры моделей нагрева, обеспечивающие наилучшее согласие с наблюдениями.

Обнаружено, что в большинстве активных областей доминирующими являлись либо стационарный (непрерывный) режим нагрева, либо высокочастотный нагрев за счёт небольших, но частых нановспышек с периодичностью менее ~ 3000 с. Среднее магнитное поле в корональных петлях убывало с ростом длины петли согласно степенному закону с характерным индексом ~ -0.55 . В большинстве случаев оптимальная интенсивность нагрева плазмы практически не зависела от напряжённости магнитного поля и убывала с ростом длины корональной петли по степенному закону с индексом порядка ~ -2.5 . Полученные результаты не соответствуют ни одной из известных теоретических моделей нагрева короны и создают основу дальнейшего развития подобных теоретических моделей.

СРАВНЕНИЕ ШКАЛ ВРЕМЕНИ ОБСЕРВАТОРИЙ КОМПЛЕКСА «КВАЗАР-КВО» С ПОМОЩЬЮ ГНСС

К.В. Кузнецов, А.В. Вытнов, А.С. Карпичев

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, kuzn.kv@yandex.ru

Синхронизация шкал времени и опорных частот антенн является одним из основных требований при работе радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ). Для формирования опорных частот и меток времени используются водородные стандарты частоты и времени. Сравнение частот и привязка временной метки к UTC осуществляется с помощью специальных ГНСС-приёмников времени.

Уменьшение относительной ошибки часов РСДБ-станций сокращает время поиска корреляционного отклика. Повышение абсолютной точности привязки шкалы времени к UTC позволит минимизировать ошибку часов.

В докладе рассмотрена возможность привязки шкал времени к национальной реализации шкалы UTC — государственному эталону времени UTC(SU) с достижением оптимальной точности сличений с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в обсерваториях РСДБ-комплекса «Квазар-КВО». Для сравнения шкал использовался дифференциальный метод, подразумевающий прием несколькими приёмниками сигналов одних и тех же спутников, что позволяет устранить ошибку часов спутника.

Показано, что при осуществлении регулярной подстройки случайная ошибка часов может поддерживаться с точностью ~ 1 нс, а средняя относительная разность частот на уровне 10^{-15} . Показано, что обозначенная точность сличения частот достигается при интервале усреднения ~ 10 сут.

БЫСТРЫЕ МАГНИТОЗВУКОВЫЕ ВОЛНОВЫЕ ПАКЕТЫ В КОРОНЕ СОЛНЦА

**Е.Г. Куприянова^{1,2}, А.В. Михальчук², Б.А. Самофалова³, Д.М. Волобуев¹,
В.А. Дмитриев², Н.Е. Овчинникова⁴, М.К. Лебедев⁴**

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория, Санкт-Петербург, Россия, elenku@bk.ru

²Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт физики, Казань, Россия

⁴Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН, Санкт-Петербург, Россия

Некоторые спонтанные процессы энерговыделения в короне Солнца сопровождаются появлением бегущих пакетов быстрых магнитозвуковых волн. Проходя через солнечную атмосферу, волновые пакеты модулируют, в частности, плотность плазмы и, следовательно, типы излучения, чувствительные к вариациям плотности. В наблюдениях волновые пакеты регистрируются в изображениях в крайнем ультрафиолетовом диапазоне, а также на динамических спектрах в радиодиапазоне на частотах ниже 3 ГГц. Временной профиль волнового пакета модулирован по амплитуде и частоте, что приводит к характерной форме его вейвлет-спектра в виде так называемого головастика или, в более общем случае, бумеранга. В докладе показан диагностический потенциал волновых пакетов и возможности его реализации с использованием современных отечественных и зарубежных инструментов в радиодиапазоне.

ПРИЕМНАЯ СИСТЕМА W-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ ДЛЯ РАДИОТЕЛЕСКОПА RT-13

А.С. Лавров, Е.Ю. Хвостов, В.К. Чернов

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, hey@iaaas.ru

Развитие точности методов РСДБ ограничено, с одной стороны, размерами баз, с другой — минимальной длиной рабочей волны. Поскольку база РСДБ с земным базированием ограничена диаметром Земли, наибольший интерес вызывают РСДБ-наблюдения на миллиметровых длинах волн. При таких наблюдениях большинство источников становятся оптически тонкими, что позволяет изучать их центральные области. Такие наблюдения могут быть полезны в изучении джетов в окрестности центров ядер галактик, поскольку раскрывают ключевую информацию об источнике энергии джета, его ускорении и коллимации.

В работе приводятся расчеты, подтверждающие возможность РСДБ-наблюдений на частотах 86 ГГц и выше для телескопов RT-13 комплекса «Квазар-КВО». Приведена оценка параметров радиотелескопа, таких как шумовая температура системы и SEFD-коэффициент использования поверхности.

Описывается концепция, которая предполагает замену Ka-диапазона на W-диапазон в трехдиапазонной приемной системе, применяющейся на RT-13 комплекса «Квазар-КВО». Это решение позволит уменьшить сложность разработки и значительно снизить сроки ее реализации. Использование совмещенного облучателя S/X/W позволит упростить процесс юстировки и проведения наблюдений за счет совмещения фазовых центров.

Приводятся результаты разработки, моделирования и макетирования отдельных частей облучающей системы, входных охлаждаемых трактов и гермовводов.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ИРКУТСКОМ РАДАРЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЙНИЯ

В.П. Лебедев, А.Г. Сетов, А.В. Медведев, Д.С. Кушнарв

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

В работе представлено описание и принцип работы Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР). Основное внимание уделено работе ИРНР в радиоастрономическом режиме, диапазон частот составляет 149–163 МГц. Задачи, решаемые на ИРНР в рассматриваемом режиме, — юстировка антенны, абсолютная калибровка мощности приня-

того сигнала, исследование характеристик среды распространения (возмущения электронной плотности различных масштабов в ионосфере), а также динамика радиоизлучения Солнца. ИРНР с 2011 г. практически непрерывно работает в радиоастрономическом режиме. Полученный ряд измерений позволил провести представительный совместный статистический анализ с измерениями, полученными на радиогелиографе Culgoora (245 МГц) и станции Learmonth (245 МГц) сети RSTN. Представлены также результаты сравнительного анализа тонкой структуры радиовсплесков с данными СРГ (5.6 ГГц).

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЛНЕЧНОЙ РАДИОАСТРОНОМИИ

С.В. Лесовой, А.В. Губин, М.В. Глоба

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

Рассматриваются задачи солнечной физики и возможности солнечной радиоастрономии. Показаны направления, в которые радиоастрономия могла бы внести существенный вклад. Анализируется соответствие существующих в мире солнечных радиотелескопов современным задачам солнечной физики. Приводится обзор разрабатываемых разными странами и сообществами солнечных радиотелескопов, обсуждаются перспективы использования радиотелескопов общего назначения в наблюдениях солнечной активности.

СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ РАДИОТЕЛЕСКОПОВ КОМПЛЕКСА «КВАЗАР-КВО»

Д.А. Маршалов, С.А. Гренков, А.С. Бердников, Л.В. Федотов

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, marshalov@iaaras.ru

Радиоинтерферометрический комплекс «Квазар-КВО» — важный элемент современной радиоастрономической инфраструктуры, интегрированный в глобальную сеть РСДБ. Он обеспечивает высокоточные наблюдения на национальном и международном уровнях, играя ключевую роль в решении фундаментальных и прикладных задач радиоастрономии. Цифровые системы обработки сигналов стали основой функционирования комплекса. За двадцать лет в России произошла технологическая эволюция от системы Р1002М до многофункциональной цифровой системы преобразования сигналов (МСПС), разработанной в ИПА РАН. МСПС превосходит предыдущие поколения, обеспечивает полную совместимость с международными стандартами (в том числе VGOS), а по ряду параметров — с зарубежными аналогами. Система включает 12 входных каналов с полосой до 2 ГГц, позволяет осуществлять удалённое управление и мониторинг. Максимальный выходной поток — до 96 Гбит/с. МСПС поддерживает режимы РСДБ-наблюдений, радиометрической и спектральной регистрации, в том числе с селекцией радиопомех. Её внедрение на радиотелескопах РТ-13 и РТ-32 в обсерваториях «Светлое», «Зеленчукская» и «Бадары» подтвердило её эффективность и надёжность, что способствовало более активному использованию комплекса в международных научных проектах.

ДВУХДИАПАЗОННЫЙ КРИОГЕННЫЙ ПРИЕМНЫЙ ФОКАЛЬНЫЙ БЛОК РАДИОТЕЛЕСКОПА ПЕРЕДВИЖНОЙ РСДБ-СТАНЦИИ

**М.А. Маслов, Ю.В. Векшин, М.Б. Зотов, А.С. Лавров, И.А. Поздняков,
Е.Ю. Хвостов, В.К. Чернов**

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, ma.maslov@iaaras.ru

В Институте прикладной астрономии была завершена разработка передвижной РСДБ-станции, вошедшей в состав комплекса «Квазар-КВО». Передвижная станция оснащена двухдиапазонным криогенным приёмным фокальным блоком с встроенным охлаждаемым S/X-облучателем. Конструкция облучателя в S-канале представляет собой гофрированную рупорную антенну, а в X-канале — диэлектрическую антенну вытекающей волны, возбуждаемую волноводным фидером. Оба частотных канала работают на ортогональных круговых поляризациях. Для достижения низкой эквивалентной шумовой температуры входа (ЭШТВ) входные каскады приёмной системы — S/X-облучатель, узлы разделения поляризаций и малошумящие усилители — размещаются внутри криостатируемого блока и охлаждаются до криогенных температур. Для уменьшения нагрузки на криогенно-вакуумную систему облучатель охлаждается до азотной температуры 78 К.

Для S-канала приёмной системы был разработан охлаждаемый тракт разделения круговых поляризаций. Уникальная конструкция тракта позволяет компактно разместить узел формирования внутри криоблока, а также уменьшить вносимые потери узла и вклад в ЭШТВ.

В работе представлены результаты разработки криостатируемого фокального блока, в том числе характеристики облучателя с учетом влияния системы формирования поляризаций и параметры всей антенной системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ РСДБ-НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОТОТИПА МОБИЛЬНОЙ РСДБ-СТАНЦИИ

А.Е. Мельников, М.Б. Зотов, Д.В. Иванов, А.Г. Михайлов

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия,
aem@iaaras, zmb@iaaras, dvi@iaaras, agm@iaaras

Представлены результаты корреляционной обработки серии наблюдений с применением технологии радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ), проведенных в 2024–2025 гг. Наблюдения на сети радиотелескопов РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» проводились для подтверждения характеристик и определения положения прототипа мобильной РСДБ-станции. Получены корреляционные отклики на базах между 32- и 13-метровым радиотелескопами с прототипом мобильной РСДБ-станции. Получены оценки спектральной эквивалентной плотности потока (SEFD) для прототипа мобильной РСДБ-станции из данных радиоинтерферометрических наблюдений точечного радиоисточника. Определены поправки к положению прототипа мобильной РСДБ-станции с сантиметровой точностью. Показана возможность использования мобильной РСДБ-станции.

РАДИОДИАГНОСТИКА СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЙ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ И СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

**В.Ф. Мельников¹, Д.А. Смирнов¹, А.А. Кузнецов², С.В. Лесовой²,
С.А. Анфиногентов², Л.В. Филатов³, Zh. Wu⁴, R.F. Huang⁴, Y. Chen⁴**

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, v.melnikov@gaoran.ru

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, a_kuzn@iszf.irk.ru

³Нижегородский архитектурно-строительный университет, filatovlv@yandex.ru

⁴Shandong University Weihai, wuzhao@sdu.edu.cn

В последние два года начаты регулярные наблюдения на Сибирском многочастотном радиогелиографе (СРГ, 3–6, 6–12, 12–24 ГГц). Это открывает богатейшие возможности диагностики физических условий во вспышечной плазме по пространственным, спектральным и поляризационным характеристикам континуального (гиротронного) микроволнового излучения. В докладе на примере исследования нескольких конкретных вспышек (20.01.2022, 16.07.2023, 14.05.2024, 15.05.2024, 1.06.2024), зарегистрированных на СРГ, показаны возможности радиодиагностики 1) величины и особенностей динамики магнитного поля во вспышечной петле на корональных высотах, где другие методы измерения магнитных полей не работают; 2) значений и динамики параметров энергетического и pitch-углового распределений нетепловых электронов во вспышечной петле; 3) локализации области ускорения электронов во вспышечной петле; 4) взаимодействия энергичных электронов с турбулентностью вистлеров. Указанные вспышки наблюдались также в мягком и жестком рентгеновском диапазонах (ASO-S, KonusWind, Solar Orbiter/STIX) и на китайском спектрографе миллиметрового диапазона CBS. Сочетание данных в различных спектральных диапазонах позволяет получить более строгие ограничения на параметры вспышечной плазмы и ускоренных частиц.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВОЛНОВОДНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ СИС-ПРИЕМНИКА С РАЗДЕЛЕНИЕМ БОКОВЫХ ПОЛОС В ДИАПАЗОНЕ 300–375 ГГц

Г.П. Назаров^{1,2}, И.В. Третьяков¹, К.И. Рудаков^{1,2}, В.П. Кошелец², А.В. Худченко¹

¹Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН,
Москва, Россия, nazarov.gr@asc.rssi.ru, tretyakov@asc.rssi.ru, rudakov@asc.rssi.ru,
khudchenko@asc.rssi.ru

²Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия,
valery@hitech.cplire.ru

Представлен анализ волноводной структуры для смесителя с разделением боковых полос в диапазоне 300–375 ГГц, основанный на туннельных переходах сверхпроводник — изолятор — сверхпроводник (СИС). Продемонстрирована общая аналитическая модель, описывающая качество коэффициента подавления боковой полосы (SRR). Модель подтверждена трёхмерным электромагнитным моделированием, показавшим хорошее качественное и количественное соответствие. Разработанная теория предоставляет практический инструмент для проектирования волноводных смесителей с требуемым уровнем отражений. Данные методы уже были использованы и хорошо зарекомендовали себя при проектировании волноводной структуры для приемника диапазона 211–275 ГГц. На основе представленной теории была спроектирована волноводная структура СИС-смесителя с разделением боковых полос для диапазона 300–375 ГГц. Согласно прогнозу, из-за отра-

жений произойдёт снижение уровня качества разделения боковых полос с -25 дБ до примерно -19 дБ.

В рамках работы показан электромагнитный и механический дизайн волноводного блока, обеспечивающего разделение боковых полос с параметрами: SRR менее -25 дБ, входное отражение ниже -25 дБ, амплитудный баланс сигнала не хуже 1 дБ и фазовый баланс не хуже 1° .

Волноводная структура приёмника может быть использована в аппаратуре космического и наземного базирования для астрофизических наблюдений, а также служить основой для создания терагерцового сканера в указанном диапазоне частот.

АНТЕННЫЙ МОДУЛЬ 4×4 РАДИОТЕЛЕСКОПА МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

В.В. Орешко

Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Пущино, Россия, referent@prao.ru

В метровом диапазоне радиоволн в качестве антенн с высоким коэффициентом усиления используются фазированные антенные решетки как наиболее эффективный вариант конструкции антенны. Как правило, при фазировании широкополосной антенны в настоящее время используются цифровые методы формирования и управления диаграммой направленности антенной решетки. Для значительного снижения объема вычислений возможно использование комбинированного способа диаграммообразования, где на первом этапе несколько антенных элементов фазировются аналоговым способом, а на втором этапе уже цифровым методом формируется общая диаграмма направленности антенной решетки.

В докладе представлен антенный модуль 4×4 как базовый элемент для радиотелескопа метрового диапазона волн с широким полем зрения и возможностью наблюдения мерцающих радиоастрономических источников в течение нескольких часов. Антенный модуль представляет собой фазированную антенную решетку из 16 широкополосных диполей диапазона 120–240 МГц. Фазирование модуля является аналоговым с использованием управляемых временных задержек. Шаг переустановки задержки составляет 0.5 нс, пересечение лучей на уровне 0.8–0.9 от максимума, отклонение луча от нормали до 60° . Представлены результаты расчетов и экспериментальных исследований модуля 4×4.

РАДИОТЕЛЕСКОП ДЛЯ МОНИТОРИНГА МЕЖПЛАНЕТНОЙ ПЛАЗМЫ

В.В. Орешко, С.А. Тюльбашев

Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Пущино, Россия, referent@prao.ru

Для полноценного прогнозирования космической погоды, помимо обнаружения вспышек на Солнце и выбросов корональной массы, необходимо определить направление и скорость распространения возмущенной плазмы. Помимо этого, свой вклад в космическую погоду дают и коротирующие структуры.

Сравнение мерцаний радиоастрономических источников в спокойном и возбужденном солнечном ветре позволяет оценить скорость и направление распространения выброса. При этом выбросы корональной массы и коротирующие структуры в наблюдениях на низких частотах различаются областями образования повышенных мерцаний.

В работе представлен проект радиотелескопа метрового диапазона волн с широким

полем зрения и возможностью наблюдения мерцающих радиоастрономических источников в течение нескольких часов. Антенна радиотелескопа представляет собой фазированную антенную решетку диапазона 120–240 МГц. Фазирование антенны комбинированное: аналоговое для отдельных антенных модулей и цифровая корреляционная обработка для формирования общей диаграммы направленности антенны. Сформулированы основные технические требования к радиотелескопу, определена его структурная схема и требования к функциональным элементам.

СОЗДАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ БЫСТРОПОВОРОТНОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С ДИАМЕТРОМ ОСНОВНОГО ЗЕРКАЛА 13.2 м

Л.А. Поваляев, А.И. Савичев

Общество с ограниченной ответственностью «Центр антенных технологий Спецмонтаж»
Подольск, Россия, smss15@mail.ru

Интенсивность исследований и разработок, направленных на создание современных радиотехнических комплексов в диапазоне 30–300 ГГц, постоянно возрастает, а области их применения расширяются.

Созданная ООО «ЦАТ Спецмонтаж» антенная установка с диаметром основного зеркала 13.2 м относится к системам нового поколения, обладающим качественно иными характеристиками по сравнению с ранее разработанными в нашей стране системами.

Изделие обеспечивает непрерывный режим работы с числом переустановок не менее 1000/сут. Максимальная скорость наведения по азимуту составляет 12°/с, при этом гарантируются точность позиционирования с погрешностью не более $\pm 1''$ (секунда дуги); программное наведение по заданной траектории с погрешностью не более $\pm 2''$.

Высокие эксплуатационные характеристики достигаются за счёт применения прецизионного опорно-поворотного устройства высокой жёсткости, построенного по классической двухосевой схеме, с многопоточными электросиловыми приводами, обеспечивающими электромеханическую компенсацию люфта, а также наличия кабины, оборудованной системой обогрева и вентиляции объёмом более 45 м³, для размещения аппаратуры приёма и преобразования сигнала

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА НА РАДИОТЕЛЕСКОПАХ РТ-32 ИПА РАНИ

А. Рахимов¹, Т.С. Андреева¹, Н.А. Топчило², Н.Г. Петерова³

¹Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский филиал САО РАН, Санкт-Петербург, Россия

В исследовании микроволнового излучения Солнца радиотелескопы РТ-32 ИПА РАН используются с 1996 г. первоначально путем наблюдений солнечных затмений. К настоящему времени накоплен материал наблюдений, проводившихся в течение двух 11-летних циклов солнечной активности (в среднем каждые два года в период 1999–2022 гг.), причем в двух-трех обсерваториях одновременно. Солнечные затмения являются наблюдениями редкого специфического вида, состоящими из последовательного набора слежений за покрытием/открытием Луной отдельных участков на диске Солнца. Для полноценных исследований Солнца как достаточно протяженного и весьма переменного источника

радиоизлучения требуется картографирование как диска Солнца, так и его корональных областей. Изначально такой алгоритм не был заложен в программное обеспечение центрального управляющего компьютера радиотелескопа, и только в 2024 г. была поставлена задача создания специализированного математического обеспечения для наблюдения Солнца. Планируется реализация картографирования двух видов: растрового для центральных областей диска Солнца и кругового для прилиम्бовой зоны. Последнее наиболее перспективно в случае наблюдения на РТ-32.

На первом этапе работы (апрель 2024 – февраль 2025 г.) на РТ-32 в обс. «Светлое» был реализован более простой в исполнении, но менее эффективный дискретный вариант кругового сканирования — квазикруговое сканирование, когда телескоп последовательно отслеживает ряд точек, расположенных по кругу относительно центра диска Солнца. На 11 примерах на 3.5 см было продемонстрировано, что заметная активность наблюдается не только на диске Солнца, но и далеко за лимбом. Большинство наблюдаемых объектов вблизи лимба связаны с активными областями и их пятенными источниками на диске Солнца или горячими (вспышечными) петлями над ними, а также холодными протуберанцами.

На текущем втором этапе работы (с апреля 2025 г. по настоящее время) реализовано стандартное круговое сканирование. Его использование позволило значительно ускорить процесс картографирования. Значительно расширена наблюдательная база (более 30 дней наблюдения ко времени написания тезисов). Увеличен диапазон регистрируемых высот (с 8 до 16 угл. мин над лимбом Солнца). В большинстве случаев регистрируется полный диск Солнца. Подтверждены качественные результаты, полученные ранее с помощью квазикругового сканирования. В докладе приведены наиболее интересные и эффектные примеры наблюдений.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ЦИФРОВОЙ РАДИОМЕТР-СПЕКТРОМЕТР САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

А.М. Рипак¹, В.М. Богод¹, И.В. Царик², М.К. Лебедев¹

¹Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН

²ООО «ЭйртЭго»

В САО РАН расширяется применение спектральной радиометрии высокого частотного и временного разрешения, которая была апробирована при создании и эксплуатации помехоустойчивого цифрового спектрального радиометра диапазона 1–3 ГГц. Сейчас на РАТАН-600 в тестовую эксплуатацию вводится новый радиометр диапазона 3–18 ГГц, предназначенный, в первую очередь, для наблюдений Солнца. В нем применены опробованные ранее на радиометре дециметрового диапазона принципы цифровой обработки радиоастрономического сигнала с устранением методом куртозиса помех с негауссовой статистикой в реальном времени без пропусков по частоте и времени. Предельные параметры разрешения составляют 82 кГц по частоте, 12.5 мс по времени, собственная шумовая температура — ~150 К, динамический диапазон без применения автоматической регулировки усиления (АРУ) — 45 дБ, с применением АРУ — не менее 90 дБ.

Представлены результаты тестовых наблюдений Солнца. Наблюдения Луны и точечного источника с помощью нового комплекса показали соответствие ожидаемых и действительных параметров прибора, а также имеется возможность независимой калибровки радиометра по яркостной температуре или по потоку. Достигнутые значения разрешения по частоте и времени в сочетании с достаточно высокой чувствительностью прибора и большой эффективной площадью РАТАН-600 позволят в процессе наблюдений за Солнцем получать детальные и качественные данные для более глубокого изучения физики солнечных явлений.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АО «НПФ «МИКРАН» В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАДИОАСТРОНОМИИ

М.Е. Ровкин, Н.А. Колядин, О.Ю. Сваровский

Акционерное общество «Научно-производственная фирма «Микран», Томск, Россия,
rovkin@micran.ru, koliadin.na@micran.ru, oleg@micran.ru

АО «НПФ «Микран» — предприятие полного цикла выпуска продукции со штатом сотрудников более 1500 человек уже более тридцати лет специализируется на разработке и выпуске продукции в области электроники СВЧ, включая микроэлектронику. В докладе представлены технологические возможности предприятия, которые могут представлять потенциальный интерес для научных организаций России в области радиоастрономии. Обширная номенклатура выпускаемых изделий включает в себя следующие направления разработки и изготовления.

1. Малошумящие усилители приемных антенн СВЧ-диапазонов, элементы трактов и преобразователи до 90 ГГц. Элементы СВЧ-трактов поставляются на многие предприятия РФ, в том числе ряда научных организаций РАН, занятых исследованиями в области радиоастрономии, таких как Институт космических исследований, Институт солнечно-земной физики, Специальная радиоастрономическая обсерватория.

2. Информационно-измерительные системы СВЧ на базе собственной линейки приборов, работающих в диапазоне до 70 ГГц.

3. Антенно-мачтовые изделия, в том числе прецизионные синхронные двухкоординатные антенно-поворотные устройства, обладающие выходным моментом до 20 кН·м, на базе которых реализован современный Радиогелиографический комплекс ИСЗФ СО РАН.

4. Технологии АФАР, разработка и изготовление приемно-передающих модулей СВЧ и систем управления для них в жестком климатическом исполнении.

5. Промышленные системы бесперебойного питания мощностью до 10 кВт и возможностью автономной работы до 72 ч, используемые для обеспечения непрерывной работы телекоммуникационного оборудования, а также центров обработки и хранения данных.

Кроме этого, АО «НПФ «Микран» имеет в своем составе полностью автоматизированную сборочную линию печатных плат, линию производства микросхем, парк высокоточных металлообрабатывающих станков, несколько сборочных цехов, обеспечивающих практически полную локализацию выпуска собственной продукции, в том числе элементов СВЧ-трактов.

ПРОТОТИП ВОЛНОВОДНОГО СИС-СМЕСИТЕЛЯ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

К.И. Рудаков^{1,2}, Г.П. Назаров^{1,2}, А.В. Худченко^{1,2}, И.В. Третьяков¹, В.П. Кошелец²

¹Астрокосмический центр ФИАН, Москва, Россия

²Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия,
rudakov@asc.rssi.ru

Разработка сверхчувствительных приемников субмиллиметрового/миллиметрового диапазонов является в настоящее время одним из наиболее интенсивно и успешно развиваемых направлений сверхпроводниковой электроники. В астрономии спектральные линии космической пыли, атмосфер планет, межзвездного вещества и других внеземных тел

являются основным источником информации о химико-физических процессах образования звезд и планет. Миллиметровый и субмиллиметровый диапазоны длин волн представляют особый интерес для астрономических наблюдений, здесь сосредоточены спектральные линии многих газов и химических соединений, находящихся в условиях глубокого космоса, а также пик излучения межзвездной пыли и сложных органических соединений. В РФ разрабатывается обсерватория, способная работать в режиме радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ). СИС-приемник (сверхпроводник — изолятор — сверхпроводник) на частоту 345 ГГц может рассматриваться как основной кандидат для создания самого высокочастотного РСДБ-канала. В лаборатории был выполнен расчёт и проектирование тестового прототипа криогенного двухполосного (Double Sideband, DSB) смесителя для приёмника на основе туннельного СИС-перехода для частоты 345 ГГц. Конечной целью этой разработки является создание полноценного приемника с разделением полос, концептуально схожего с приемником для ALMA при использовании DSB-смесителя, аналогичного по конструкции с тестовым прототипом для диапазона 211–275 ГГц. Это будет сборка на основе односторонних (волноводный зонд и вся микросхема расположены только с одной стороны относительно центра волновода) или двухсторонних сверхпроводниковых смесителей в волноводном блоке с высокочастотным волноводным гибридом.

ИНСТРУМЕНТЫ И ПРОЕКТЫ АСТРОКОСМИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ФИАН

А.Г. Рудницкий, С.Ф. Лихачев, Т.И. Ларченкова, Е.С. Голубев

Астрокосмический центр, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

В последнее десятилетие существенно возрос интерес к миллиметровому диапазону длин волн в астрономии. Успешные наблюдения Телескопом горизонта событий (Event Horizon Telescope) стимулировали развитие радиоинтерферометрии в этом диапазоне. В последние годы активно развивается разработка будущих наземных и космических инструментов для наблюдений в этом диапазоне. Космические интерферометры начинают формировать будущее радиоастрономии. С их созданием и запуском появится возможность перехода к более высокочастотным наблюдениям, недоступным с Земли.

Астрокосмический центр, накопивший большой опыт за время создания и эксплуатации обсерватории «Радиоастрон», в настоящее время ведет работы над несколькими новыми инструментами и проектами. Помимо активно разрабатываемой обсерватории «Миллиметрон», которая станет первым 10-метровым охлаждаемым космическим телескопом, работающим в режимах одиночного телескопа и радиоинтерферометра, ведутся исследования и разработка принципиально новых проектов и инструментов. Прорабатывается создание сети наземных компактных антенных решеток миллиметрового диапазона, космического радиоинтерферометра, компактной антенной решетки на поверхности Луны, солнечного космического телескопа «Арка». Космический радиоинтерферометр, телескопы на Луне и обсерватория «Миллиметрон» обеспечат беспрецедентное угловое разрешение в диапазоне длин волн, интерес к которому стремительно возрастает. В свою очередь, планируется, что новый проект телескопа «Арка» позволит проводить наблюдения как в ультрафиолетовом, так и в терагерцовом диапазонах частот, детектировать потоки частиц солнечных космических лучей, осуществлять мониторинг и прогнозирование космической погоды совместно с наземными средствами Пушинской радиоастрономической обсерватории.

БАЗА ДАННЫХ МНОГОЛЕТНИХ КРУГЛОСУТОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ РАДИОТЕЛЕСКОПА БСА ФИАН

В.А. Самодуров¹, В.В. Орешко¹, М.О. Торопов², Е.А. Исаев³, А.А. Горбунов⁴

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Астрокосмический центр, Пущинская радиоастрономическая обсерватория, Пущино, Россия, samod@mail.ru, oreshko@praо.ru

²ООО ТЭК Информ, Москва, Россия, mt1710@yandex.ru

³Институт математических проблем биологии РАН — филиал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Пущино, Россия, is@itaec.ru

⁴Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия, agorbunov@hse.ru⁴

Радиотелескоп БСА ФИАН (Большая синфазная антенна Физического института имени П.Н. Лебедева РАН) работает на частоте 109–112.5 МГц и является крупнейшим в мире радиотелескопом в метровом диапазоне длин волн. Он используется для исследований пульсаров, транзиентных источников, динамики околосолнечной и межпланетной плазмы, а также для изучения структуры компактных галактических и внегалактических радиоисточников. В 2012 г. на нем начала работу так называемая третья многолучевая диаграмма, при этом ведутся круглосуточные непрерывные наблюдения в 128 лучах радиотелескопа, перекрывающих склонения от -8° до $+56^\circ$. Данные наблюдения производятся на трех стойках многоканальных приемников, которые вводились в строй последовательно в 2012 (первые 48 лучей), 2013 (вторые 48 лучей), 2021 г. (последние 32 луча). Наблюдения одновременно ведутся в двух модах наблюдений: легкой и тяжелой (6-частотный и 32-частотный режимы с постоянными времени 0.1 и 0.0125 с соответственно), на каждом приемнике записываются раз в час наблюдательные данные.

В результате накоплен огромный массив наблюдательных файлов: на конец июня 2025 г. — более 480 тыс. файлов общим объемом 364 ТБ, из них 353 ТБ в тяжелой моде, и 10.5 ТБ в легкой. Для их обработки применяются различные программные комплексы, но нам не хватало единого инструмента для хранения, систематизации и сортировки данных. Чтобы устранить этот недостаток, была создана многолетняя база данных, сменившая собой тестовую базу, покрывавшую ранее лишь год наблюдений, в которую вошли все сведения о файлах наблюдений, рисунки для их визуализации, и самое главное: в базу данных введены сжатые метрики данных. Каждые 10 с наблюдений для всех 128 лучей прочитаны и введены в базу следующие данные: среднее арифметическое, среднее медианное, дисперсия, дисперсия за исключением 30 % максимальных значений и 2 % минимальных, значение минимума, значение максимума, расположение максимума данных на отрезке. Указанные метрики, рассчитанные для каждой частоты, позволяют определять качество данных и напрямую выделять из них при помощи математических фильтров, реализованных в том числе на языке SQL, различные виды радиоисточников. Поэтому база данных (<https://astro.prao.ru>) позволит нам с высокой эффективностью определять характеристики антенны БСА; калибровать данные и определять качество данных в каждой 10-секундной точке наблюдений; выделять радиоисточники, выполняя их вторичную калибровку по опорным источникам. Объем базы данных составит ~800 ГБ для каждых 10 лет наблюдений.

Многолетняя база данных открывает перед нами широкие возможности поиска и отождествления уже известных и новых радиоисточников, а также многолетнего мониторинга их параметров на частоте 110 МГц. В ближайшее время она будет соединена с другими наблюдениями не только на БСА, но и на других инструментах нашей обсерватории. В базу данных также будут добавляться известные каталоги радиоисточников и другие данные, позволяющие совместно обрабатывать наши и сторонние данные.

ВОЗМОЖНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ В ВОССТАНОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ФИТИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРАХ РАДИОИСТОЧНИКА, СВЯЗАННЫЕ С АНИЗОТРОПНОСТЬЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Д.А. Смирнов^{1,2}, В.Ф. Мельников²

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург, Россия, v.melnikov@gaoran.ru

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия, dmitriy.smirnov@unn.ru

Целью данной работы являлось нахождение возможных погрешностей в оценках магнитного поля и параметров ускоренных электронов, возникающих при фитировании микроволновых спектров излучения из вспышечных областей Солнца в предположении как изотропного, так и анизотропного распределения электронов. Для этого проводились восстановление спектров двух модельных радиоисточников с разными заданными параметрами и последующие оценки погрешности восстановления этих параметров.

В результате анализа установлено, что диагностика с учётом возможной анизотропности потоков электронов обеспечивает более точное восстановление параметров по сравнению с предположением об изотропности распределения электронов, особенно при значительной продольной анизотропии, принятой в модели. Установлен также эффект существенного занижения оценки магнитного поля, восстановленного в предположении изотропии распределения электронов, при значительной реальной продольной анизотропии.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ ПРИ УЧЕТЕ ВОЗМОЖНОГО АНИЗОТРОПНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Д.А. Смирнов^{1,2}, В.Ф. Мельников²

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург, Россия, v.melnikov@gaoran.ru

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия, dmitriy.smirnov@unn.ru

Работа посвящена радиодиагностике параметров солнечных вспышек 20.01.2022 и 16.07.2023 методом фитирования частотных спектров их микроволнового излучения. Радидиагностика этих событий уже проводилась ранее, однако она осуществлялась в предположении изотропного пичч-углового распределения излучающих электронов, что может давать значительные погрешности восстанавливаемых параметров, если реальное распределение электронов по пичч-углам имеет некоторую анизотропию. Поэтому целью работы является проведение радиодиагностики с учетом возможной анизотропии и сравнение полученных результатов с имеющимися.

При анализе установлено, что в исследуемых вспышках для большинства моментов времени действительно присутствует определенная степень анизотропии излучающих электронов. При этом между результатами восстановления параметров в предположении изотропии и с учетом возможной анизотропии видна некоторая разница, хотя характер эволюции параметров в целом подобен. В некоторые моменты времени различия в поведении параметров значительны, по большей части это относится к величине магнитного поля. Данный факт согласуется с результатами анализа погрешностей восстановления параметров на модельных радиоисточниках.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

**Ю.В. Сотникова, Т.В. Муфухаров, А.Г. Михайлов, М.Л. Хабибуллина,
Д.О. Кудрявцев**

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия,
lacerta999@gmail.com

Представлены основные направления и результаты радиоастрономических исследований, проводимых на радиотелескопе РАТАН-600 Специальной астрофизической обсерватории РАН (САО РАН). РАТАН-600 — радиотелескоп с антенной переменного профиля, главным преимуществом которого является многочастотность. В режиме круглосуточных наблюдений на частотах от 1 до 30 ГГц реализуются следующие программы исследований: (1) разных подклассов активных ядер галактик (АЯГ), включая предельно далекие на красных смещениях $z=5\div 6$; (2) радиогалактик; (3) рентгеновских двойных систем со струйными выбросами — микроквазаров; (4) источников быстрых радиовсплесков; (5) радиоизлучения нижней короны и хромосферы Солнца в ежедневных многоазимутальных измерениях. Представлены наиболее важные результаты, связанные с многоволновыми и долговременными (до 30 лет) измерениями АЯГ, прогнозированием протонных событий на Солнце и вспышек в микроквазарах. Представлены основные ресурсы обсерватории: система поддержки астрофизических каталогов CATS (Astrophysical CATalogs support System, www.sao.ru/cats) и многочастотный каталог измерений блазаров BLcat (Blazars catalogue, www.sao.ru/blcat).

УПРАВЛЕНИЕ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ РАДИОТЕЛЕСКОПА С ДВУХСКОРОСТНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В.Г. Стэмповский, А.М. Шишкин

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия, stempkovsky@iaaras.ru

Результатом работ по модернизации систем наведения радиотелескопов РТ-32 стало внедрение адаптивного управления в режиме большой скорости для улучшения характеристик управления в начале движения с последующим разгоном до требуемой скорости и торможением с остановкой. Основным параметром управления является управляющее напряжение, которое через каскад усиления подается на электродвигатели привода. В предшествующей версии системы наведения начало движения обеспечивалось заданием фиксированного управляющего напряжения заведомо выше минимально необходимого в большинстве случаев. Это было необходимо для сохранения работоспособности в изменяющихся условиях эксплуатации (погодные условия, состояние механической части опорно-поворотного устройства антенной системы и др.).

Адаптивное управление позволяет начинать движение всегда на минимально достаточном уровне управляющего напряжения. Этот же уровень используется и для расчета окончания движения: если при данном напряжении движение прекратилось, а цель не достигнута, напряжение плавно увеличивается для «докатывания». Благодаря применению описанного подхода точность «переброса», т. е. движения в режиме большой скорости, улучшилась в большинстве случаев с 1.5–2.0 угл. мин до 15–20 угл. сек. Но важнее то, что плавная остановка уменьшает вынужденные колебания конструкции антенной системы перед началом этапа сопровождения источника радиосигнала.

Несмотря на кажущуюся простоту, практическое воплощение адаптивных алгоритмов потребовало значительных усилий для противодействия факторам, искажающим восприятие антенной системы как идеального механизма.

СИСТЕМА СИНТЕЗА РАДИОИЗОБРАЖЕНИЙ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА: ОБЩИЙ ПОДХОД К ПОЛУЧЕНИЮ ГОТОВЫХ НАУЧНЫХ ДАННЫХ

В. Феденёв

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

Сибирский радиогелиограф (СРГ), введённый в эксплуатацию в конце 2023 г., является уникальным инструментом для изучения солнечной активности в радиодиапазоне на частотах от 3 до 24 ГГц. Обработка и синтез этих данных, обладающих высоким временным, частотным и пространственным разрешением, требует значительного времени и вычислительных ресурсов.

Существующие программные пакеты позволяют получать из сырых данных двумерные изображения Солнца с индивидуальной калибровкой коэффициентов усиления антенн и подобранными для каждого случая характеристиками. Однако для масштабных исследований, таких как видеоряды вспышечной активности Солнца или статистический анализ, необходим более общий подход, обеспечивающий воспроизводимость результатов, одинаковый интерфейс для разных алгоритмов синтеза и высокую скорость работы.

Для решения этой задачи разработан программный пакет `srhimages`, автоматизирующий процесс синтеза радиоизображений СРГ — от выбора наблюдений до получения готовых научных данных. В основе системы лежит стандартизированный модульный подход: `srhimages` использует API-сервис для получения метаданных о доступных наблюдениях, избавляя от необходимости загрузки больших объемов сырых данных. Далее формируется расчётное задание, содержащее всю необходимую информацию для синтеза изображений, включая параметры калибровки и временной интервал. Сам процесс синтеза включает скачивание данных, калибровку коэффициентов усиления антенн с использованием разработанных отдельными авторами алгоритмов, постобработку калибровок и, наконец, формирование итоговых радиоизображений, в том числе с применением CLEAN. Там, где это возможно, активно используются параллельные вычисления.

Пакет `srhimages` предоставляет исследователям универсальное решение для автоматизации обработки данных СРГ, позволяя сосредоточиться на анализе результатов. Ведётся работа над дальнейшим ускорением вычислений (в том числе за счёт интеграции с центром обработки данных обсерватории «Бадары») и разработка удобных графических интерфейсов. Исходный код на языке Python открыт для изучения и распространения, а разработанный подход может быть адаптирован и для других инструментов, генерирующих большие объёмы данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ И ПОТЕРЬ В ОБРАЗЦАХ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ДВУХКАНАЛЬНОГО АТМОСФЕРНОГО РАДИОМЕТРА ИПАР-2

В.Б. Хайкин^{1,5}, Я.О. Водзяновский^{2,5}, Павел М. Землянуха³, Петр М. Землянуха³,
А.Ю. Шиховцев⁴

¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

² Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

³ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

⁴ Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

⁵ Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Измеритель пропускания атмосферы радиометрический двухканальный (ИПАР-2) разработан для измерения оптической толщи атмосферы τ и осажденного водяного пара PWV абсолютным методом. Приводятся характеристики ИПАР-2 и результаты его применения для измерения τ , PWV и потерь L в образцах радиопрозрачных материалов (РПМ). По результатам измерений на пике Хулугайша (3000 м) в утренние часы 23.04.2025 получены $T_b < 20$ К на волне 2 мм и инверсия температур на волне 2 и 3 мм. Это говорит о $\tau \sim 0.1$ Нп и $PWV = 1.0 \div 1.5$ мм, что соответствует данным реанализа Era-5. Наименьшие потери из 15 образцов получены у РПМ на основе сополимера бутадиен стирола ($\epsilon = 1.49$) с оптимизированной толщиной 1 мм $L = 0.10 \pm 0.05 / 0.14 \pm 0.05$ дБ на волне 3 мм/2 мм, что позволяет использовать данный РПМ с защитным от УФ-покрытием для заполнения каркаса радиопрозрачного укрытия (РПУ) миллиметрового/субмиллиметрового телескопа.

МЕСТА-КАНДИДАТЫ ДЛЯ МИЛЛИМЕТРОВЫХ И СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ НАЗЕМНЫХ ТЕЛЕСКОПОВ В ПРИЛОЖЕНИИ К ПРОЕКТУ ЕВРАЗИЙСКИХ СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ ТЕЛЕСКОПОВ (ESMT)

**А.Ю. Шиховцев¹, В.Б. Хайкин^{2,4}, П.Г. Ковadlo¹, А.А. Леженин³, Е.А. Копылов⁴,
М.Ю. Шиховцев¹, В.С. Градов³, М.Б. Дрига¹**

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, Ashikhovtsev@iszf.irk.ru, kovadlo2006@rambler.ru, max97irk@yandex.ru, driga@iszf.irk.ru

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, пос. Нижний Архыз, Россия, vkhstu@mail.ru

³Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, lezhenin@ommfao.sccc.ru, gradov.v.s@gmail.com

⁴Института астрономии РАН, Москва, Россия, kopylov@inasan.ru

Разработка астрономических инструментов нового поколения, работающих в миллиметровом и субмиллиметровом (мм/субмм) диапазонах ограничена влиянием земной атмосферы. Для мм/субмм-телескопов основным газом, определяющим непрозрачность атмосферы, является водяной пар (ВП). В настоящей работе рассматриваются подходы для уточнения оценок осажденного ВП и оптических толщин атмосферы. Эти подходы включают в себя использование данных реанализа ERA-5, мезомасштабной модели WRF и нейронных сетей. В работе определены значения непрозрачности атмосферы, соответствующие новым перспективным астроплощадкам (пик Хулугайша и Ташанта), а также для Специальной астрофизической обсерватории. Наряду с Али в Китае, пик Хулугайша и Ташанта рассматриваются нами как потенциальные локации для размещения телескопа в рамках проекта «Евразийские субмиллиметровые телескопы» (ESMT). Обсуждаются и атмосферные характеристики над г. Джуфудог, которая показывает низкое содержание ВП. Низкое содержание ВП над г. Джуфудог подтверждается и первыми результатами измерений, выполненных с помощью измерителя пропускания атмосферы радиометрического двухканального (ИПАР-2), который включает два радиометра на волну 3 и 2 мм. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-72-10043 <https://rscf.ru/project/24-72-10043/>.

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

А	
Ан	7
Андреева	15, 25
Андрианов	3
Анфиногентов	3, 23
Арнаут	4
Б	
Бауман	16
Безруков	17
Бердников	21
Богод	5, 26
Бондаренко	5
Быков	6
В	
Векшин	6, 8, 22
Власюк	7
Водзяновский	32
Войчик	11
Волобуев	19
Вольвач	7
Вытнов	13, 19
Г	
Глоба	7, 21
Голубев	28
Голубчина	8
Горбунов	29
Градов	33
Гренков	8, 15, 21
Гречнев	9
Губин	7, 14, 21
Д	
Дмитриев	10, 19
Дрига	33
Е	
Егоров	10
Ермаков	11
Ерофеев	6
Ж	
Желенкова	11
Жмуркина	16
З	
Завгородний	12
Землянуха	32
Зимовец	16
Зимовский	4
Зинченко	12
Зотов	6, 13, 22

	И	
Иванов В.П.	15	
Иванов Д.В.	13, 22	
Иванов Е.Ф.	14, 16	
Ильин	6	
Ипатов	13, 15	
Исаев	29	
Исаенко	15	
	К	
Карпичев	19	
Кашапова	16	
Киселев	9	
Ковадлю	33	
Ковалев	7, 11	
Койнаш	16	
Колядин	17, 27	
Кононов	17	
Копылов	33	
Кочанов	9	
Кошелец	23, 27	
Кратов	18	
Кумейко	4	
Кудрявцев	7, 31	
Кузнецов А.А.	18, 23	
Кузнецов К.В.	19	
Куприянова Ку-	10, 19	
рочкин	5	
Кушнарев	20	
	Л	
Лавров	6, 20, 22	
Ларченкова	28	
Лебедев	5, 19, 20, 26	
Леженин	33	
Лесовой	7, 14, 17, 21, 23	
Лисаков	11	
Лихачев	28	
Логвиненко	3	
	М	
Маршалов	5, 21	
Маслов	22	
Медведев	20	
Мельников	17, 22, 23, 30	
Михайлов	7, 22, 31	
Михальчук	19	
Муфахаров	7, 31	
	Н	
Назаров	23, 27	
Нижельский	18	

	О	
Овчинникова	5, 19	
Орешко	3, 24, 29	
	П	
Павлов	4, 5	
Петерова	25	
Поваляев	25	
Поздняков	22	
Потапов	3	
	Р	
Рахимов	15, 25	
Рипак	5, 26	
Ровкин	17, 27	
Рожкова	16	
Рудаков	23, 27	
Рудницкий	28	
	С	
Савичев	25	
Самодуров	29	
Самофалова	19	
Сваровский	17, 27	
Семенова	7	
Сетов	20	
Смирнов	23, 30	
Сотникова	7, 31	
Спиридонова	7	
Степанов	14	
Стэмпковский	13, 31	
Суркис	4	
	Т	
Толстой	5	
Топчило	25	
Торопов	29	
Третьяков	23, 27	
Тюльбашев	3, 24	
	У	
Удовицкий	18	
	Ф	
Феденёв	32	
Федотов	23	
Филатов	21	
	Х	
Хабибуллина	7, 31	
Хайкин	32, 33	
Харинов	7	
Хвостов	6, 13, 20, 22	
Хоруженко	11	
Худченко	23, 27	

	Ц	
Царик		26
Цыбулев		18
	Ч	
Чернов		6, 20, 22
	Ш	
Шантырь		8
Шарыкин		16
Шиховцев		32, 33
Шишкин		6, 31
	С	
Chen		23
	Н	
Huang		23
	W	
Wu		23

**ВСЕРОССИЙСКАЯ
РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
(ВРК – 2025)**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Отв. редактор *А.В. Губин*

Редактор *М.В. Никонова*

Формат 60×90 1/8. Гарнитура Times New Roman
Усл. печ. л. 4.25. Уч.-изд. л. 5.1. Тираж 10. Заказ № 205 от 13 августа 2025 г.

Отпечатано в издательском отделе ИСЗФ СО РАН, 664033, Иркутск, Лермонтова, 126А