

УДК 520.27:520.8

ПРОТИВОПОМЕХОВАЯ АКТИВНОСТЬ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

© 2007 П. Г. Цыбулев, А. Б. Берлин, Н. А. Нижельский, М. Г. Мингалиев, Д. В. Кратов

Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167, Россия

Поступила в редакцию 3 августа 2006; принята в печать 9 октября 2006

Приведен анализ электромагнитной обстановки более чем за 30-летний период работы комплекса радиометров сплошного спектра РАТАН-600. Рассмотрены практические методы борьбы с помехами, применявшиеся в этот период на радиотелескопе — от использования противопомеховых приставок к радиометрам до внедрения в штатную систему сбора данных быстродействующих цифровых сигнальных процессоров.

1. ВВЕДЕНИЕ

Радиоастрономические наблюдения на крупных инструментах с использованием высокочувствительной приемной аппаратуры всегда связаны с целым рядом мешающих факторов. Значительная часть рабочего диапазона радиотелескопа 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. Проблема осложняется тем, что для получения предельной чувствительности радиометров в сплошном спектре используются максимально широкие (до нескольких ГГц) полосы приема. А для радиоастрономии, как известно, защищенными являются всего лишь узкие диапазоны частот от нескольких МГц до сотни МГц. Известное крылатое выражение “*per aspera ad astra*” (“через тернии к звездам”) — как нельзя лучше характеризует современную ситуацию с помехами при радиоастрономических наблюдениях.

2. ИЗМЕНЕНИЕ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ И МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ПОМЕХАМИ

1. В течение более 30-летнего периода на радиотелескопе РАТАН-600 непрерывно действовали два фактора, к сожалению, имеющие одинаковый знак: постоянно росла чувствительность радиометрических приемных устройств (рис. 1) и постоянно росла нагрузка радиоспектра сигналами, являющимися помехами по отношению к полезному сигналу.

2. 70-е годы. Изначально предполагалось, что РАТАН-600 строится в абсолютно беспомеховой

зоне, вдали от цивилизации. Действительно, в первые годы работы телескопа основным типом помех были помехи от автотранспорта и от использовавшихся на площадке радиотелескопа малогабаритных переносных радиостанций. С теми и другими сначала боролись административными методами: ГАИ требовала от водителей правильной регулировки зажигания, а использование радиостанций было просто запрещено. Первыми аппаратурными методами борьбы с помехами были разные варианты известной схемы ШОУ (широкая полоса — ограничитель — узкая полоса). При низкой чувствительности приемных устройств и незначительном уровне помех это работало.

3. 80-е годы. Рост уровня и количества типов мешающих сигналов: динамичное развитие телевидения (ретрансляторы, радиорелейные линии), стремительное развитие орбитальных радиопередающих систем. Продолжающаяся быстрая урбанизация района.

Весьма сильные помехи создаются геостационарными спутниками, работающими в диапазонах 4 ГГц и 11 ГГц. Влияние этих спутников особенно велико на высотах источников $35^\circ - 45^\circ$ над горизонтом (рис. 2). Сигнал даже от одного элемента антенны, наведенного на спутник, составляет десятки Кельвинов при чувствительности радиометра ~ 10 мК.

В радиометрах дециметрового диапазона (волны 31 и 13 см) в 80-е годы применялись противопомеховые приставки [1], разработанные специалистами из НИРФИ (Нижний Новгород). В основе метода лежало использование детектора наименьших значений, выделяющего последовательность наименьших значений реализации сигнала $U_c(t)$

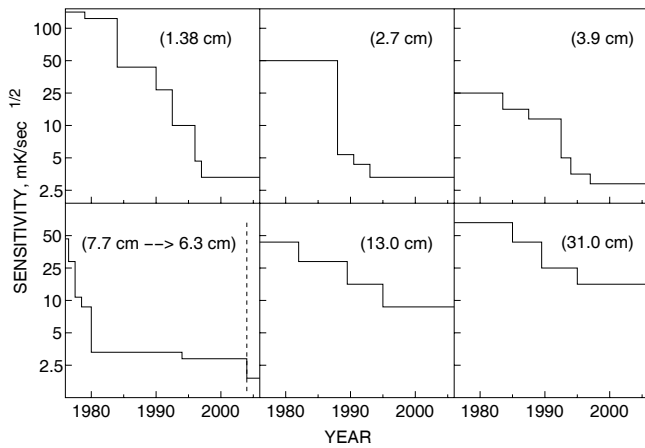


Рис. 1. Динамика роста чувствительности радиометров сплошного спектра РАТАН-600.

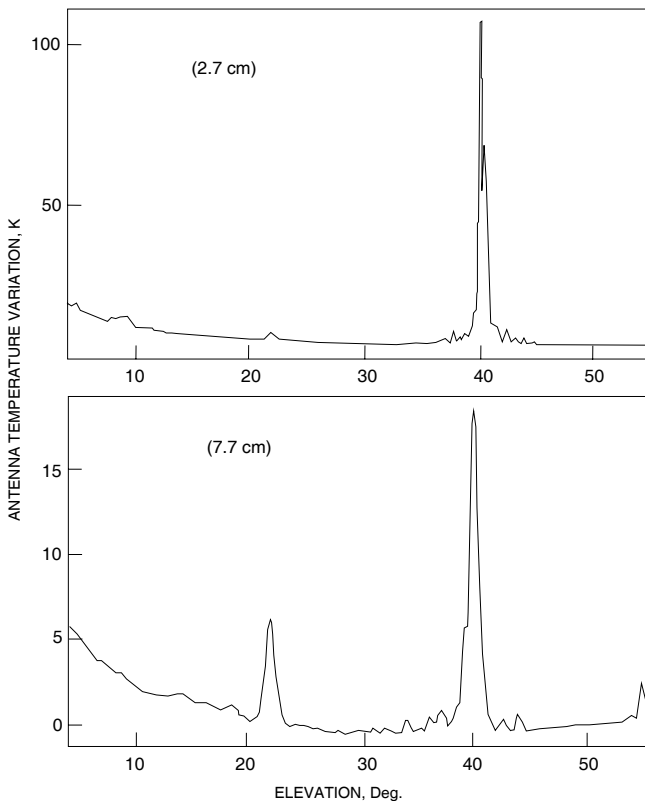


Рис. 2. Влияние засветки от геостационарных спутников на шумовую температуру антенны в диапазонах 4 ГГц (вверху) и 11 ГГц (внизу).

на соответствующих временных интервалах. Повышение устойчивости радиометра к импульсным помехам достигалось благодаря тому, что среднее наименьших значений сигнала на выходе квадратичного детектора определяется в основном шумовой составляющей и слабо зависит от интенсивности импульсов помехи. Устройство имело два кана-

ла передачи сигнала: основной и опорный, данные из которых непрерывно поступали на два входа решающего устройства. В отсутствие помех сигнал на выход приставки проходил по основному каналу. При превышении сигналом основного канала порогового уровня за счет импульса помехи или шумового выброса на выход устройства передавалась шумовая выборка из опорного канала. Включение устройства подавления помех приводило к ухудшению флуктуационной чувствительности радиометра не более, чем на 10%. Данный метод хорошо справлялся с чистой записей от импульсных помех, но был менее эффективен при помехах большей длительности и не работал вообще при смещениях нулевого уровня на масштабах диаграммы антенны и более.

4. 1990–2000-е годы. “Орбитальная проблема” — геостационарные спутники: принимается решение о невозможности дальнейшей работы на волне 7.6 см, начинается разработка и изготовление нового современного радиометра на стандартной радиоастрономической волне 6.25 см. Около трех лет тому назад этот радиометр [2] введен в эксплуатацию и является одним из лучших в своем классе, особенно если учесть нюансы применения такого прибора на РАТАН-600. Радиометр выполнен с криогенным (до уровня 15 К) охлаждением входных усилительных каскадов на GaAs НЕМТ-транзисторах. Двухканальное исполнение (в сочетании с универсальным входным разделителем поляризаций и специальными опциями входного тракта) позволяет регистрировать одновременно либо две круговые (RHC и LHC), либо две линейные (параметры Стокса Q и U) поляризации. Два канала являются фактически двумя независимыми радиометрами, объединенными только общей системой калибровки. Последнее обстоятельство, в сочетании с предпринятыми мерами по повышению стабильности работы каналов, позволяет использовать в практике наблюдений и обработки сигнала ряд специальных режимов, например, искусственной диаграммой модуляции с вычитанием каналов (“software switching”). Процедура наблюдений на новом радиометре полностью автоматизирована с использованием модернизированной системы сбора данных на базе ЦСП (Цифровые сигнальные процессоры) [3].

5. Отдельную и очень серьезную проблему представляют мощные помехи от быстроразвивающихся систем сотовой связи стандарта GSM (Global System of Mobile Communications). Сигналы от работающей вблизи РАТАН-600 в диапазоне 31 см GSM-900 (890–915 МГц передача от базовой станции, 935–960 МГц прием базовой станцией (передача с трубки)) столь сильны, что их превышение над уровнем шумов радиометра составляет не менее 65–70 дБ. Помехи пролезают в “хвосты”

АЧХ-фильтров и вызывают насыщение вторых и последующих каскадов приемников прямого усиления. В этом случае оказалась эффективной установка дополнительных многозвенных фильтров после входных НЕМТ-усилителей. При этом удается снять проблему просачивания помехи, и при должном (порядка 30 дБ) усилении НЕМТ-усилителя установленный после него фильтр не ухудшает шумовую температуру системы, а собственно входной НЕМТ-усилитель весьма устойчив к действию сигнала помехи. Выходные усилители также должны иметь большой динамический диапазон (порядка 10 мВт), чтобы помеха не привела к насыщению в усилительных каскадах приемника.

Для борьбы с помехами такого рода на РАТАН-600 выработана и внедрена в штатную эксплуатацию так называемая частотно-временная схема помехоподавления. Суть данной схемы состоит в следующем: входная полоса радиометра разделяется на несколько (от 4 до 8) “узких” частотных каналов, в каждом из которых проводится независимый прием и скоростная обработка сигнала с помощью ЦСП. Это сильно усложняет схему выходной части радиометра, однако позволяет успешно проводить наблюдения в большинстве случаев, когда наблюдение в полной входной полосе радиометра становится невозможным.

Более подробно классификация наблюдаемых помех и методы помехоподавления описаны в нижеследующих разделах.

3. АНАЛОГОВОЕ ИМПУЛЬСНОЕ ПОМЕХОПОДАВЛЕНИЕ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

В середине 80-х годов на РАТАН-600 была предпринята первая попытка исследования помеховой обстановки вокруг радиотелескопа. Речь тогда шла о необходимости и возможности активного подавления импульсных помех. Данный вид помех наблюдается во временной области на выходе квадратичного детектора радиометра и характеризуется малым временем действия (до десятка микросекунд) и превышением в 2.5 и более раз уровня шумового сигнала в полосе анализа 1 МГц. Импульсные помехи оказывали большое влияние на наблюдения в диапазонах 7.7 см, 13 см и 31 см. По данным этих исследований были разработаны и внедрены в штатную эксплуатацию противопомеховые приставки к радиометрам указанных диапазонов, и эти устройства в течение десятка лет успешно использовались в наблюдениях на РАТАН-600 (см. предыдущую главу).

4. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО ПОМЕХОПОДАВЛЕНИЯ

Следующая итерация противопомеховой активности на РАТАН-600 пришлась на середину 90-х, и связана она была с тремя факторами: ухудшением помеховой обстановки, физическим и моральным старением аналоговых устройств импульсного помехоподавления и появлением средств высокоскоростной цифровой обработки сигналов (ЦОС) и ЦСП. ЦОС имеет большое преимущество по сравнению с аналоговой обработкой сигналов, так как позволяет более гибко вмешиваться в процесс формирования выходного сигнала радиометра в масштабе реального времени. Кроме того, в системах ЦОС отсутствуют недостатки аналоговых средств обработки, такие как деградация параметров системы со временем, необходимость периодической подстройки электронных схем в процессе эксплуатации и др. Привлекательность ЦОС обусловлена и такими основными преимуществами, как гарантированная точность вычислений, совершенная воспроизводимость результатов, отсутствие искажений характеристик из-за температуры или устаревания, большая гибкость построения систем и высокая производительность.

Итак, в середине 90-х годов на РАТАН-600 снова исследовалась помеховая ситуация, но подход к исследованиям был уже **частотно-временной**. Помехи исследовались методами скоростной оцифровки сигнала на выходе квадратичного детектора радиометра в полосе частот до 32 кГц. А количество выходов в радиометре было увеличено от 1 до 4–8 путем разделения широкой полосы радиометра на “узкие” каналы банком СВЧ-фильтров. Это дает возможность импульсного цифрового помехоподавления во временной области во всех “узких” каналах и возможность выбирать участки общей полосы радиометра, свободные от неустраняемых импульсным способом помех. На этом принципе и было выполнено частотно-временное помехоподавление, которое используется на РАТАН-600 до настоящего времени.

На рис. 3 приведена блок-схема “противопомеховой приставки” к радиометру диапазона 13 см. Соответствующие устройства диапазонов 31 см и 49 см имеют сходную архитектуру, различие лишь в количестве “узких” каналов (в радиометре 31 см их 4). Данная архитектура позволила провести исследования помеховой обстановки на РАТАН-600. Исследования показали наличие на момент измерений большой доли помех импульсного характера. На рис. 4 показан характерный вид импульсных помех во всех “узких” каналах радиометра 31 см. Показаны отдельные полупериоды модуляции во

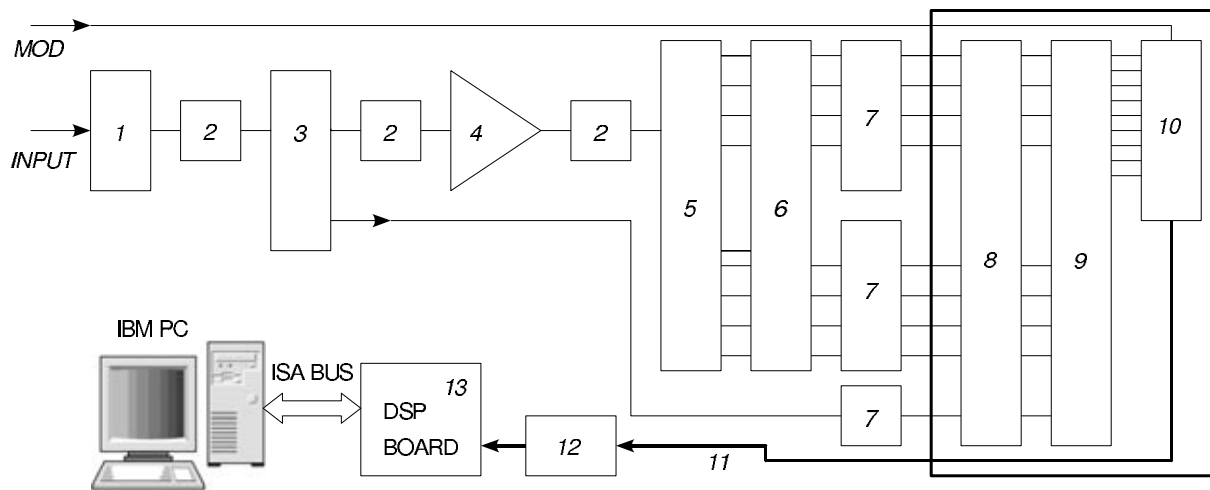


Рис. 3. Блок-схема противопомеховой приставки к радиометру диапазона 13 см. (1) – СВЧ-фильтр с полосой 2.12 – 2.52 ГГц; (2) – вентили; (3) – делитель сигнала на 8; (4) – усилитель (ок. 40 дБ) для компенсации потерь при дальнейшем делении сигнала на 8; (5) – делитель сигнала на 8; (6) – банк СВЧ-фильтров с полосами по 50 МГц каждый; (7) – предварительные усилители низкой частоты с квадратичными детекторами на входе; (8) – фильтр нижних частот (ФНЧ) для согласования с рабочей полосой АЦП; (9) – АЦП (10–12 разрядов) с мультиплексором на входе; (10) – преобразователь параллельного кода в последовательный; (11) – линия связи с цифровым сигнальным процессором (ок. 25 м); (12) – гальваноразвязка; (13) – плата цифрового сигнального процессора на шине ISA PC; MOD – сигнал модуляции радиометра; INPUT – вход СВЧ-сигнала.

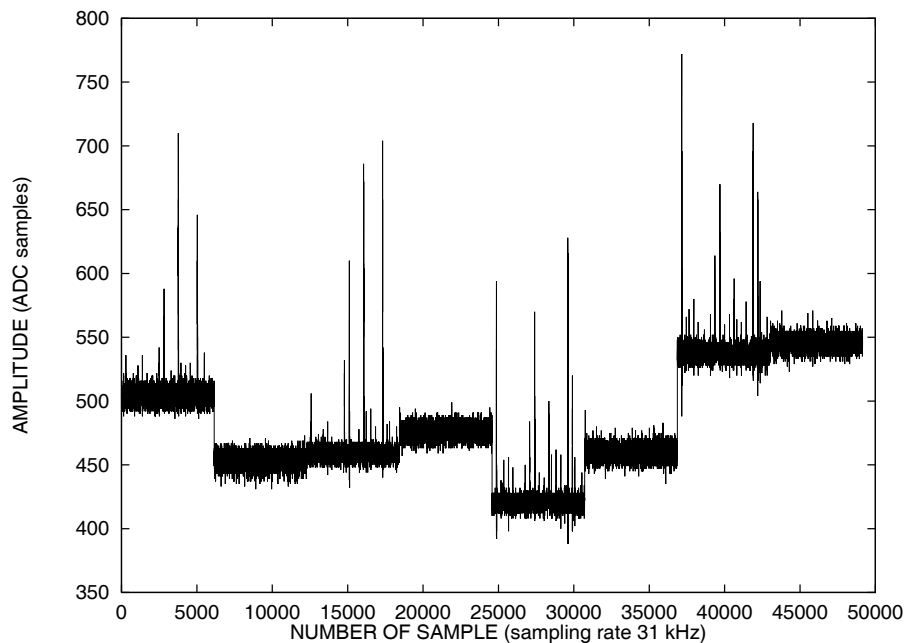


Рис. 4. Пример записи помех в 4-х “узких” каналах радиометра 31 см, каждый из которых оцифрован в 2 полупериода сигнала модуляции (“антенна – эквивалент”). Помеха присутствует в полупериод сигнала модуляции, соответствующий наблюдению “неба” и отсутствует в полупериод, соответствующий измерению опорного сигнала.

всех 4-х каналах радиометра в последовательности “антенна – эквивалент” для каждого канала. Видно, что помеха присутствует только в том полупериоде модуляции, который соответствует наблюдению неба (“антенна”) и отсутствует в полупериоде, когда измеряется сигнал канала сравнения

(“эквивалент”). Это свидетельствует о внешней по отношению к радиометру помехе.

Метод частотно-временного помехоподавления на уровне обработки сигнала состоит из двух этапов [4]. Первый этап — on-line удаление в ЦСП коротких импульсов, длительность которых не пре-

восходит 80% длительности полупериода модуляции радиометра, а амплитуда превышает заданный порог (например уровень 3σ). Отсчеты сигнала в этом месте заменяются предыдущим “нормальным” отсчетом, который успешно выдержал критерий 3σ . Однако если длительность помехи больше указанной (порядка 100 миллисекунд) — помеха уже считается “длительной”, ее удаление приведет к большим нарушениям статистики сигнала, и такая помеха не удаляется, это — граница области применимости метода. Второй этап — это частотное помехоподавление (off-line). Суть метода — синтез широкой полосы радиометра из “узких” каналов в процессе дальнейшей обработки данных. Если в результате работы первого этапа (временного помехоподавления) в некоторых каналах все же действовала длительная помеха, такие каналы могут быть исключены из процедуры синтеза.

Ограничение на импульсное помехоподавление, равное 80% длительности полупериода модуляции радиометра (меандр) — эмпирическое правило, которое удовлетворяет требованию, чтобы информация с каждого полупериода модуляции участвовала в построении выходного сигнала радиометра, т.е. чтобы не было пропусков. Это объясняется тем, что все радиометры дециметрового диапазона построены по схеме радиометра с добавлением шума (РДШ), когда сигнал с неба (один полупериод модуляции) сравнивается с сигналом внутреннего источника шума (генератор шума (ГШ), второй полупериод) в каждый период модуляции. Кроме того, импульсная помеха может быть протектирована и устранена только в течение одного полупериода из-за разрыва сигнала на границе полупериодов.

На рис. 5 продемонстрировано применение метода частотно-временного помехоподавления на радиометре диапазона 31 см. Необходимо уточнить, что на радиометрах 13 и 31 см имелась возможность записи информации в полной полосе приема с возможностью выключения on-line фильтрации импульсных помех (запись (f)). Из этой записи видно, что в интервале времени наблюдения радиостанции действовала помеха, намного превосходящая амплитуду радиостанции. Заключение о характере этой помехи можно сделать из записей в “узких” каналах (a), (b), (c), (d): помеха была импульсной, так как была успешно подавлена on-line фильтрацией в ЦСП. В результате все “узкие” каналы оказались пригодными для синтеза полной полосы радиометра (120 МГц), см. запись (e).

Таким образом, цепочка процедур анализ → фильтрация → синтез в случае действия только импульсных помех позволяет полностью восстановить информацию в полной полосе радиометра, однако с некоторой потерей чувствительности (см.

главу “Потери информации в методе частотно-временного помехоподавления”).

Эффективность применения on-line фильтрации импульсных помех продемонстрирована на рис. 6 [5]. На радиометре диапазона 13 см проведено одновременное наблюдение с on-line фильтрацией и без нее в полной входной полосе радиометра (400 МГц). Видно практически полное подавление импульсов радиолокационной станции на записи (b). Остаточные “артефакты” свидетельствуют о предельной работе алгоритма фильтрации, когда длительность импульса все же превышала допустимую и алгоритм отключался на короткое время.

На рис. 7 приведен случай наблюдения радиостанции на радиометре диапазона 13 см на пределе чувствительности приемника в “узких” каналах (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i). В процессе обработки наблюдений (off-line) произведен синтез полной полосы радиометра (запись (a) и синтез полосы с отбраковкой канала (e), запись (j)). Помеха видна только в канале (e), что приводит к невозможности наблюдения источника в полной полосе радиометра. На записи (j) радиостанция отчетливо видна и его параметры могут быть измерены с высокой точностью.

4.1. Потери информации в методе частотно-временного помехоподавления

Пусть полная полоса СВЧ-радиометра равна ΔF . Эта полоса разделена на N смежных “узких” полос, или частотных каналов равной ширины δf_i . Тогда, если среднеквадратичное отклонение (СКО) шумов радиометра с полосой ΔF равно σ_F то, поскольку СКО шума на выходе радиометра обратно пропорционально корню квадратному из ширины СВЧ-полосы, СКО шума в канале шириной δf_i будет равно:

$$\sigma_f = \sigma_F \sqrt{N}.$$

Это означает, что при действии “длительной” помехи в $N-1$ каналах, когда алгоритм вырезания импульсных помех в этих каналах уже не срабатывает, для результирующего синтеза останется один “узкий” канал с чувствительностью в \sqrt{N} раз худшей, чем чувствительность в полной полосе радиометра. Если же при этом в оставшемся “узком” канале еще и действуют импульсные помехи, занимающие 80% — 1% длительности каждого второго полупериода модуляции (считаем, что в полупериоде внутреннего источника шума, ГШ, помеха отсутствует), то результирующая чувствительность еще ухудшится. Для оценки этого ухудшения чувствительности необходимо уточнить, что наблюдения проводятся на сбалансированном радиометре, когда дисперсия шума от неба равна дисперсии

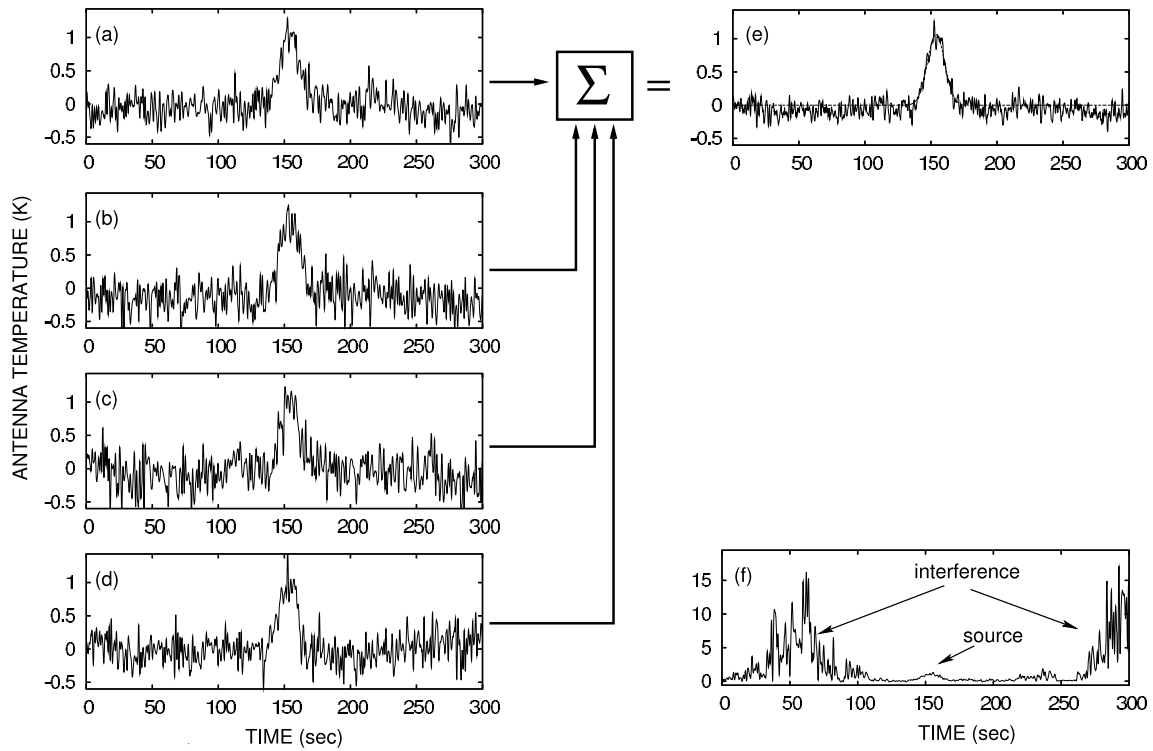


Рис. 5. Пример применения метода частотно-временного помехоподавления при наблюдении радиисточника на волне 31 см (4 “узких” канала).

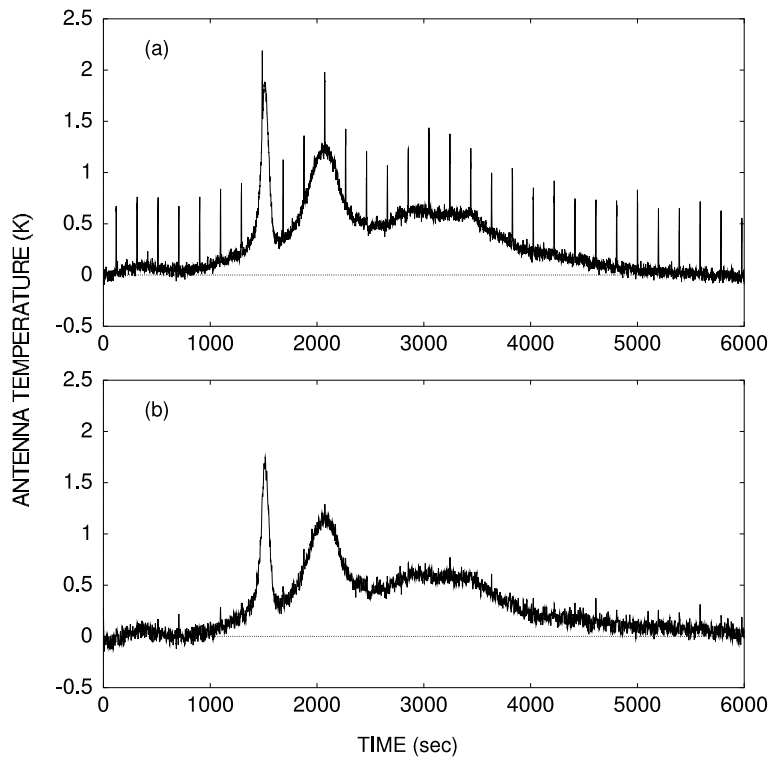


Рис. 6. Пример применения метода on-line фильтрации импульсных помех в полной полосе радиометра диапазона 13 см при наблюдении радиисточника: (a) – без фильтрации, (b) – с on-line фильтрацией.

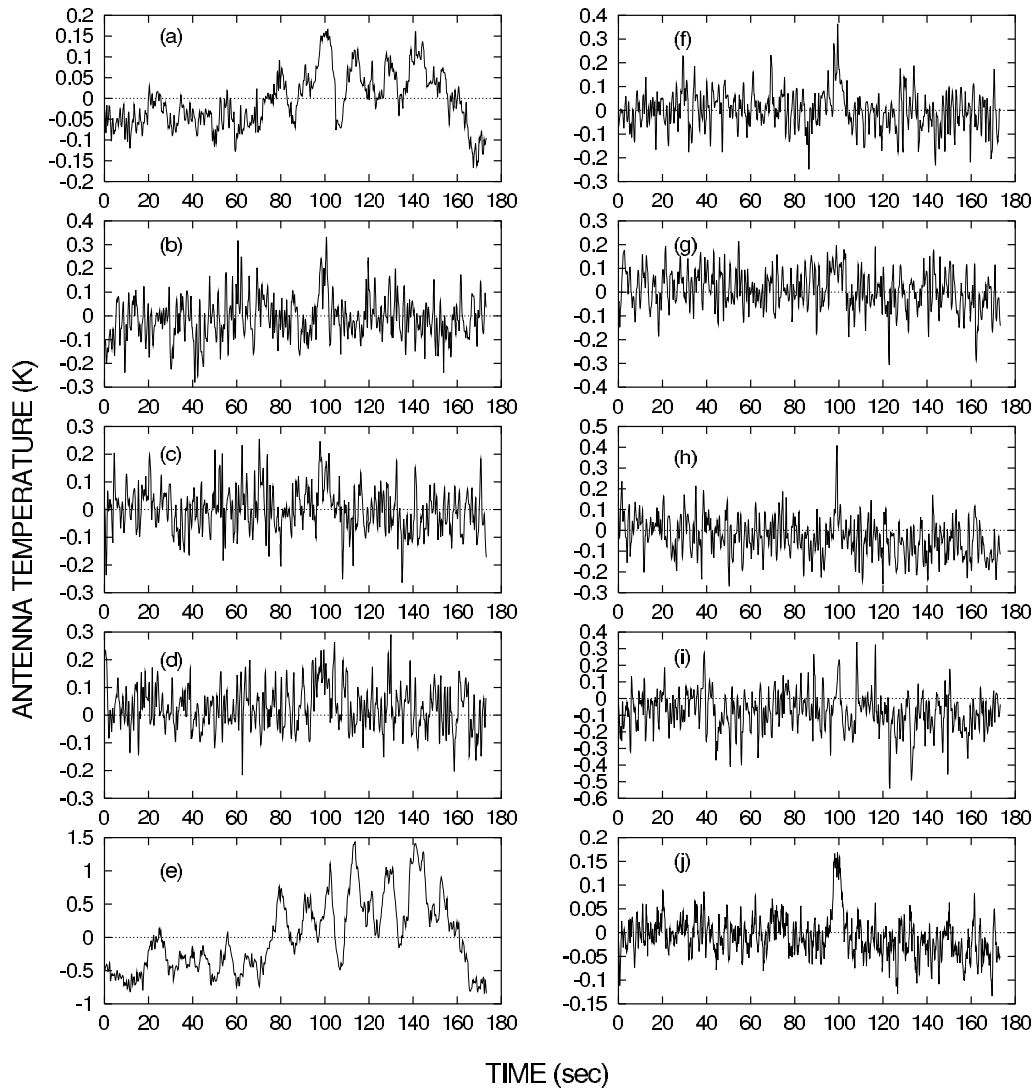


Рис. 7. Запись сигнала радиисточника 1936+046 на выходе радиометра диапазона 13 см: (a) — сигнал “широкого” (400 МГц) канала без помехозащиты; (b–i) — сигналы в “узких” каналах (по 50 МГц каждый) системы помехозащиты; (j) — сумма не испорченных помехой семи “узких” каналов.

шума внутреннего опорного ГШ радиометра. Считаем, что шумы в полупериодах модуляции, участвующие в построении выходного сигнала, имеют гауссово распределение. Радиометр производит непрерывное вычитание шумов одного полупериода из шумов другого, в результате чего в одном “узком” канале дисперсия выходного шума равна σ_f^2 . Пользуясь “гауссовостью” шумов, заключаем, что дисперсия шумов полупериодов до вычитания равна $\frac{\sigma_f^2}{2}$. Такая дисперсия останется для шума полупериода ГШ. Для шума “неба” дисперсия будет максимум в 5 раз большей, так как только 20% от длительности полупериода даст реальный вклад в шум полупериода (остальные 80% будут константой, см. описание алгоритма импульсного помехоподавления). Тогда при вычитании уже

неравноточных данных полупериодов их дисперсии

$$\text{сложатся: } \frac{\sigma_f^2}{2} + \frac{5\sigma_f^2}{2} = 3\sigma_f^2.$$

Итак, в самом неблагоприятном случае, когда помехи еще позволяют наблюдать на данном радиометре, чувствительность радиометра будет примерно в $\sqrt{3N}$ раз хуже, чем в случае наблюдения без помех. Так, радиометр 13 см, который при ширине СВЧ-полосы 400 МГц без помех реализует чувствительность 9 мК, в “пессимистичном” случае с помехами покажет чувствительность ≈ 44 мК. Это означает, что в данном случае радиисточники с температурой менее 88 мК уже не будут обнаружены в одиночном наблюдении (прохождении через диаграмму направленности радиотелескопа).

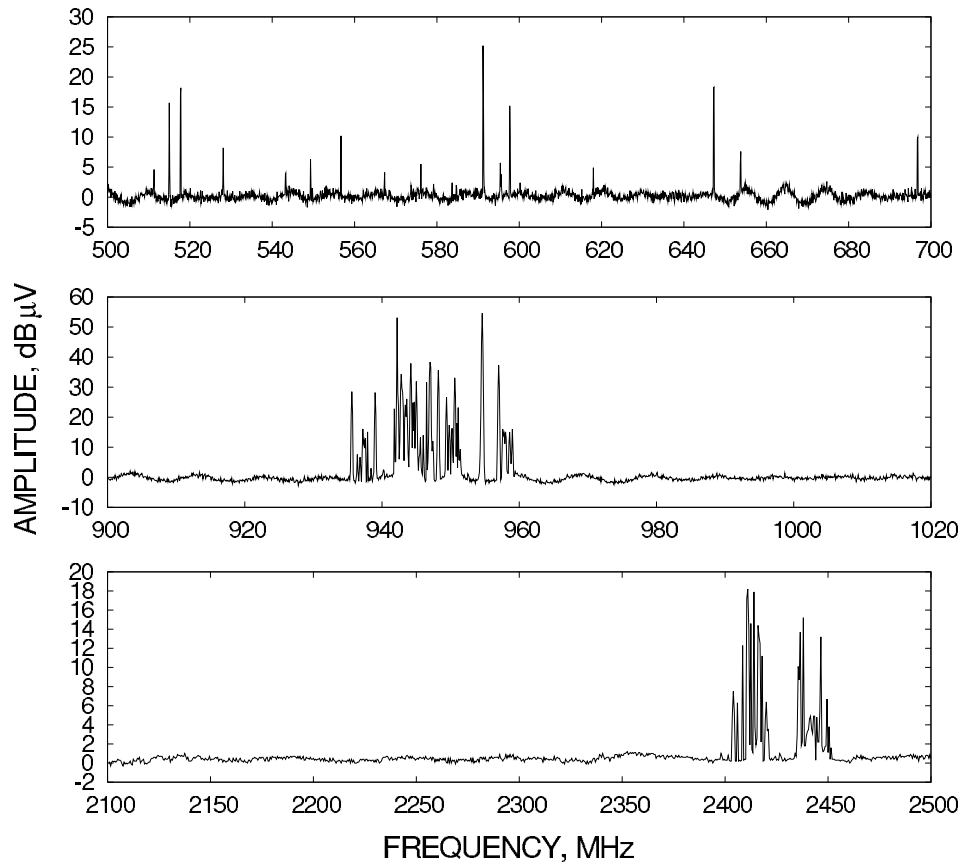


Рис. 8. Радиочастотное излучение, принятое на РАТАН-600 в направлении на станцию Зеленчукскую (ближайший населенный пункт с передатчиками телевидения, сотовой связи и радио-Ethernet). Диапазоны РАТАН-600: 542–670 МГц (49 см), 900–1200 МГц (31 см), 2120–2520 МГц (13 см). Май 2006 г.

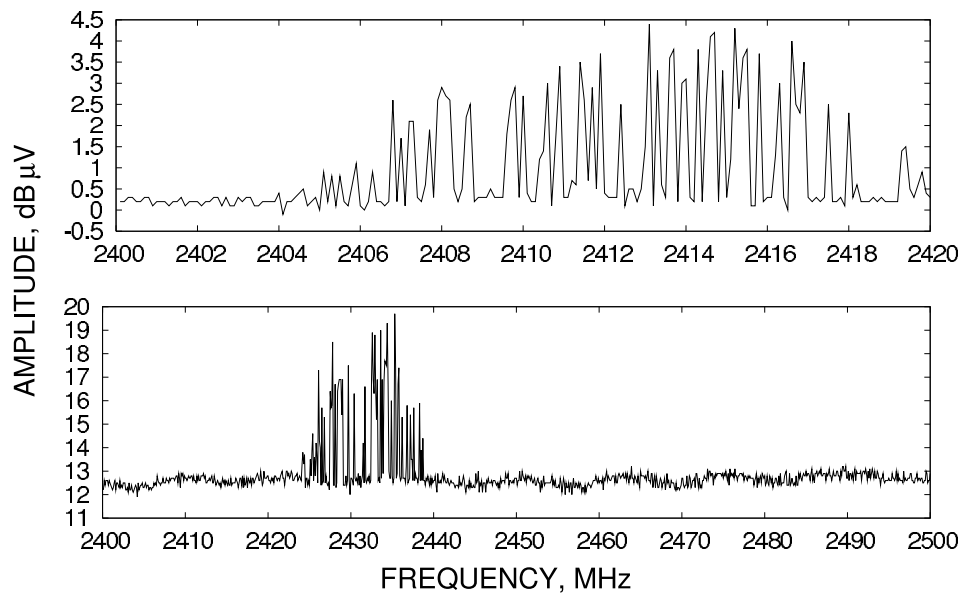


Рис. 9. Радиочастотное излучение, принятое на РАТАН-600 в направлении на 6-метровый оптический телескоп САО РАН, рядом с которым установлен передатчик радио-Ethernet. Май 2006 г. Диапазон радиометра 13 см: 2120–2520 МГц.

5. ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА ПОМЕХ В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ НА РАТАН-600

Следующий этап в изучении помеховой обстановки на РАТАН-600 начат совсем недавно, в 2005 году. Необходимость таких работ продиктована резким увеличением числа радиочастотных диапазонов, которые уже недоступны для радиоастрономов. Так, на радиометре диапазона 13 см стали недоступны для наблюдений 3 “узких” канала из 8. Теперь расчетная чувствительность этого радиометра ухудшилась в корень квадратный из отношений ширин полос полного и “усеченного” (≈ 1.27 раз) диапазона радиометра просто за счет сужения полосы радиометра. На радиометрах 31 см и 49 см наблюдения проводятся в полосе, вчетверо меньшей, чем проектная, с результирующим ухудшением чувствительности в 2 раза. Кроме того, помехи появились уже и в сантиметровом диапазоне. На радиометре диапазона 3.9 см “засветка” радионеба ухудшила расчетную чувствительность в 3–5 раз!

Вместе с тем на РАТАН-600 появилась возможность более активного изучения помеховой обстановки в дециметровом диапазоне длин волн благодаря появлению современных измерительных средств. Для исследования помеховой обстановки приобретен измерительный приемник диапазона 0.5 МГц–3000 МГц. Приемник полностью охватывает рабочие полосы дециметрового диапазона РАТАН-600. Однако чувствительность данного приемника в комплекте с двухметровой параболической антенной намного хуже чувствительности современного радиометра РАТАН-600, поэтому для более прецизионных измерений нами приобретен и установлен дополнительный малошумящий усилитель на входе приемника (+17 дБ). В таком составе измерительный комплекс можно было использовать для визуальной регистрации помех по шкале прибора.

Для возможности записи регистрируемых помех в персональный компьютер (ПК) и получения отчетов по измерениям нами разработано дополнительное программное обеспечение, позволяющее управлять режимами измерения и заносить данные в ПК. Система разработана на базе ОС Linux и позволяет проводить автоматическое сканирование выбранного диапазона частот, применяя различные виды демодуляции (PULSE, AM, FM, LOG) с требуемым частотным разрешением и временем интегрирования. Блок-схема комплекса показана на рис. 10. Измерительный комплекс установлен на верхней точке одного из вторичных зеркал РАТАН-600.

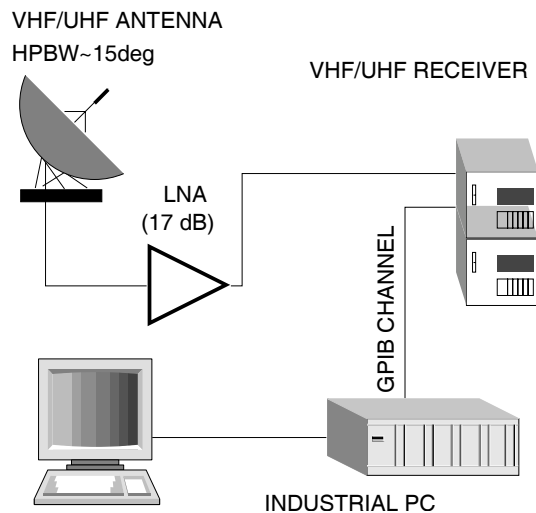


Рис. 10. Блок-схема комплекса по измерению помех на РАТАН-600.

В результате кругового обзора в горизонтальной плоскости по перекрывающимся азимутам нами обнаружены азимуты, соответствующие максимальным уровням внешнего сигнала (для радиотелескопа — помехи) в диапазонах РАТАН-600. Эти азимуты соответствуют направлениям на станцию Зеленчукскую (несколько радиоцентров) и БТА.

На рис. 8 и 9 показаны результаты измерений радиочастотных излучений, принятых соответственно в направлении на станцию Зеленчукскую и 6-метровый оптический телескоп САО РАН.

Следует отметить, что диапазоны, в которых наблюдаются помехи на радиометрах РАТАН-600, полностью соответствуют диапазонам сигналов, показанных на рис. 8 и 9.

В перспективе возможна установка данного измерительного комплекса на выходах радиометров дециметровых диапазонов с коммутацией входов приемников. Это позволит оперативно обнаруживать помеху и принимать решения по помехозащите соответствующего диапазона.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сложная электромагнитная обстановка требует применения современных аппаратных и программных средств для борьбы с помехами в радиоастрономии. Представленная здесь методика частотно-временного помехоподавления показала свою эффективность и перспективность для РАТАН-600. Требуется дальнейшее совершенствование аппаратуры и алгоритмов для проведения качественных радиоастрономических наблюдений.

Анализ помеховой обстановки показывает экспоненциальное увеличение числа помех техногенного происхождения в последние 3–5 лет. В основном это стационарные и мобильные средства связи,

телевидение. В этой ситуации, наряду с применением эффективных технических средств борьбы с помехами, важная роль в защите радиоастрономических диапазонов должна принадлежать государственному контролю и регулированию средств связи и телерадиовещания. Ситуация требует выработки нормативных документов, регламентирующих распределение радиочастот вблизи и внутри уникального астрономического центра России.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящие исследования проводились при частичной поддержке грантов РФФИ (0502-17521), СПбНЦ РАН и гранта ПРАН “Фоновые излучения Вселенной”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. А. Горбачев, В. И. Данилов, Ю. И. Модеев, Приборы и техника эксперимента **4**, 83 (1987).
2. Н. А. Нижельский, А. А. Балановский, Б. И. Карабашев и др., *Тезисы докладов на Всероссийской астрономической конф. ВАК-2004 “Горизонты Вселенной”* (Москва, 2004), с.26.
3. А. Б. Берлин, Л. Г. Гассанов, В. Я. Гольнев и др., Радиотехника и электроника **27**, 1268 (1982).
4. A. B. Berlin and P. A. Friedman, “Real-Time Radiometric Data Processing against Electromagnetic Pollution”, in *Proc. of the 25-th General Assembly of the International Union of Radio Science, Aug. 28 – Sept.5, 1996, Lille, France* (Lille, 1996), p. 750.
5. В. А. Столяров, П. Г. Цыбулев, *Сб. тезисов докл. XXVII радиоастрономической конференции* (С-Петербург, 1997), т. 3, с. 182.

INTERFERENCE-MITIGATION MEASURES AT RATAN-600 RADIO TELESCOPE

P. G. Tsybulev, A. B. Berlin, N. A. Nizhel'skii, M. G. Mingaliev, D. V. Kratov

We report an analysis of the electromagnetic situation at RATAN-600 radio telescope over the 30-year period of operation of the complex of continuum radiometers. We analyze practical methods for mitigating radio interference ranging from the use of anti-interference adapters to incorporating fast digital signal processors into the standard data acquisition system.