

Помеховая обстановка в обсерватории «Светлое»

© Т. С. Андреева, А. В. Исаенко, А. А. Царук,
Г. Н. Ильин, С. А. Гренков, И. А. Рахимов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье представлены результаты изменения помеховой обстановки РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» в обсерватории «Светлое». Описаны методы, используемые для мониторинга и снижения влияния радиопомех на результаты радиоастрономических наблюдений. Особое внимание уделено фильтрации полосы пропускания с использованием спектрально-селективного радиометрического модуля.

Отмечен положительный опыт взаимодействия с ФГУП «ГРЧЦ» в Северо-Западном федеральном округе с целью поддержания допустимого уровня радиопомех.

Ключевые слова: помеховая обстановка, способы уменьшения влияния помех, спектрально-селективный радиометрический модуль.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.48.3-9>

Введение

Радиотелескоп РТ-32 обсерватории «Светлое» входит в состав радиоинтерферометрического комплекса со сверхдлинными базами (РСДБ) «Квазар-КВО», и на нем проводятся регулярные наблюдения по фундаментальным и прикладным программам исследований [1]. Наблюдения выполняются как в радиоинтерферометрическом режиме, так и в режиме одиночного радиотелескопа. Качество наблюдательных данных определяется отношением сигнал/шум, которое во многом зависит и от уровня мешающих сигналов, попадающих в полосу приема. Сохранение помеховой обстановки на уровне, приемлемом для работы радиоэлектронных систем (РЭС) радиотелескопов, — задача, являющаяся актуальной на сегодняшний день. И она стала еще более актуальной в связи с планируемым вводом в строй радиотелескопа нового поколения РТ-13, имеющего сверхширокополосную приемную систему [2].

В обсерватории проводится периодический (примерно раз в квартал) мониторинг радиопомех в диапазонах частот РЭС радиотелескопов, результаты которого отражаются в каталоге помех. В статье представлена динамика помеховой обстановки за последние годы и результаты работы по поддержанию сложившегося уровня помех, а также методы снижения влияния помех на результаты радиоастрономических наблюдений в режиме одиночного зеркала.

Помеховая обстановка в обсерватории «Светлое»

С момента создания РСДБ-комплекса «Квазар-КВО», оснащенного радиотелескопами РТ-32 [3], территориальными органами власти и соответствующими радиочастотными службами совместно с ИПА РАН предпринимались меры

для сохранения сложившейся радиопомеховой обстановки обсерватории, что гарантировало успешное выполнение научных и прикладных программ. Для этого правительством Ленинградской области согласно постановлению № 119 от 30 ноября 2001 г. была создана специальная (координационная) зона радиоастрономической обсерватории «Светлое» [4] Института прикладной астрономии Российской академии наук, что позволило обеспечить устойчивую работу РЭС радиотелескопа.

Отмена данного Постановления в 2007 г. привела к активной постройке объектов техногенного характера вблизи обсерватории [5]. Операторами подвижной службы были установлены вышки с аппаратурой сотовой связи второго и третьего поколений, работающих в диапазоне частот 2110–2200 МГц. Ввод в эксплуатацию сетей связи четвертого поколения создал дополнительные помехи в диапазоне частот 2300–2500 МГц. В S-диапазоне частот также отмечены источники помех антропогенного характера, связанные с жилой застройкой территорий вблизи обсерваторий комплекса (СВЧ-печи, устройства Wi-Fi и Bluetooth). На карте рис. 1 отмечены: бывшая координационная зона обсерватории, станции сотовой связи на 2006 г. (белые маркеры) и станции связи, появившиеся в период 2007–2018 гг. (черные маркеры).

Изменение картины помех с течением времени наглядно видно из спектрограмм сигналов промежуточной частоты приемных устройств радиотелескопа, представленных на рис. 2–3. Если в более коротких диапазонах длин волн помеховая обстановка отличается стабильностью и по настоящее время является удовлетворительной, то диапазоны L и S оказались полностью поражены помехами, и со временем их число и интенсивность возрастают [6]. Противостоять процессу роста уровня помех в частотных диапазонах радиотелескопа возможно только в результате взаимодействия с территориальной радиочастотной службой.

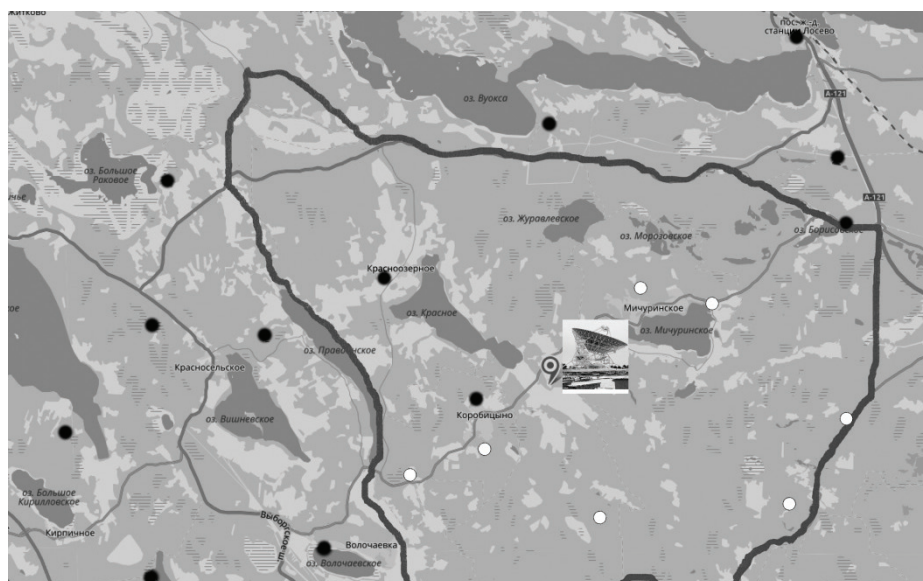


Рис. 1. Карта координационной зоны обсерватории «Светлое» (жирная темная линия) с обозначенными станциями сотовой связи

В табл. 1–2 показано изменение помеховой обстановки в L и S диапазонах соответственно за последние 12 лет (подборка наиболее мощных помех на указанную дату регистрации при различных ориентациях главного лепестка диаграммы направленности антенны РТ-32). Для фиксации максимального уровня помех спектры сигналов промежуточной частоты (ПЧ) измеряются при угле места (УМ) до 20°. В диапазоне 18 см наиболее заметно влияние базовых станций UMTS в диапазоне 1710 МГц и выше. Несмотря на то что частоты базовых станций могут находиться вне диапазона частот, выделенных радиотелескопу РТ-32, паразитные гармоники от их работы могут занимать значительную часть полосы пропускания 18 см (рис. 2а). В диапазоне 13 см основное помеховое воздействие производится мощными Wi-Fi роутерами, что может привести к перегрузке всего тракта ПЧ приемного устройства (рис. 3б). Также в полосе частот 2400–2500 МГц постоянно присутствуют помеховые сигналы СВЧ-печей и сигналы сотовой связи четвертого поколения 4G.

Таблица 1
Наиболее интенсивные помехи в диапазоне 18 см

Дата	Направление (Аз. — азимут, УМ — угол места)	Частоты, МГц	Мощность над уровнем шумов, дБм*
04.12.2006	Аз. 240°, УМ 10°	1530–1580	10
16.09.2010	Аз. 183°, УМ 26°	1395–1490	6
		1530–1580	35
		1585	7
		1800–1890	20
21.12.2011	Аз. 310°, УМ 20°	1400	15
		1500–1600	30
		1690–1725	5
		1780–1890	45
		1960–2100	45
14.08.2013	Аз. 270°, УМ 20°	1355	8
		1390–1410	15
		1530–1580	12
		1800–1890	22
11.04.2016	Аз. 270°, УМ 20°	1340–1360	8
		1400	3
		1480	6
		1530–1580	20
		1600	30
		1602–1730	8
19.06.2018	Аз. 270°, УМ 20°	1340–1360	20
		1368	22
		1400	6
		1510–1580	5
		1590–1730	7
		1790–1860	15

Таблица 2

Наиболее интенсивные помехи в диапазоне 13 см

Дата	Направление (Аз. — азимут, УМ — угол места)	Частоты, МГц	Мощность над уровнем шумов, дБм*
04.12.2006	Аз. 10°, УМ 15°	2370–2500	18
16.09.2010	Аз. 270°, УМ 20°	2136	>35 перегрузка при- емного тракта
14.10.2010	Аз. 270°, УМ 20°	2145–2190	35
		2370–2500	25
		2520	32
11.04.2016	Аз. 270°, УМ 40°	2145–2190	42
		2298	5
		2370–2500	22
		2470–2520	20
		2660	7
25.06.2018	Аз. 270°, УМ 20°	2145–2190	>35 перегрузка при- емного тракта
		2220–2300	20
		2370–2500	22
		2410–2430	25
		2470–2520	10
		2650–2670	19

*Примечание: ввиду того, что измерения проводятся стандартными спектроанализаторами, не имеющими сертификата поверки, уровень помех фиксируется в логарифмических единицах мощности на выходе тракта промежуточных частот перед подачей на устройство преобразования и регистрации сигналов.

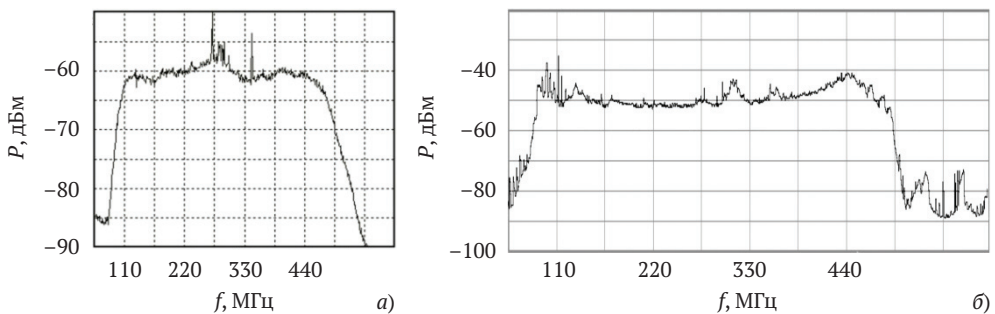


Рис. 2. Спектрограмма ПЧ канала диапазона L, где P — мощность:
а — 04.12.2006 г., б — 19.07.2018 г.

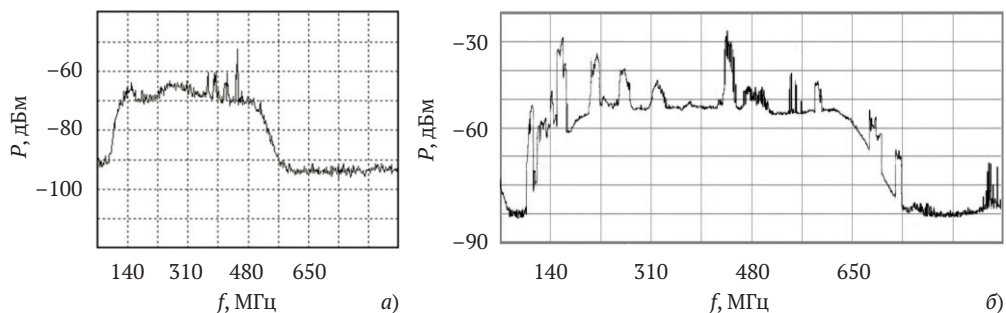


Рис. 3. Спектрограмма ПЧ канала диапазона S, где P — мощность:
 а — 04.12.2006 г., б — 25.07.2018 г.

Способы борьбы с помехами

1. Режекторные фильтры

Наиболее очевидным аппаратным методом защиты от радиопомех является использование полосовых режекторных фильтров, которые возможно установить на выходе криогенного малошумящего усилителя (МШУ). Примером подобного решения может служить фильтр высоких частот, установленный в тракт ПЧ приемника S-диапазона радиотелескопа РТ-32, позволяющий ослабить сигнал UMTS. Если этого не делать, то комбинационные помехи из-за перегрузки появляются во всей полосе ПЧ S-диапазона.

2. Использование программно-аппаратных методов удаления помеховых сигналов

Для проведения радиометрических наблюдений в условиях воздействия радиопомех разработана спектрально-селективная система регистрации [7]. Спектрально-селективная радиометрическая система регистрации состоит из модуля вычисления спектров, подключаемого непосредственно к выходу промежуточных частот приемного устройства (ПУ) и управляющего компьютера радиотелескопа. С выхода приемно-усилительного канала шумовой сигнал, содержащий собственные шумы радиотелескопа, широкополосный сигнал исследуемого космического источника и радиопомехи поступают в модуль вычисления спектра. Усредненный спектр передается в компьютер, где после исключения спектральных компонент на частотах радиопомех (в усредненном спектре принятые узкополосные помехи четко выделяются в виде выбросов на фоне гладкого спектра широкополосного шума) остается гладкий спектр смеси исследуемого сигнала и собственных шумов радиотелескопа, по которому можно измерить параметры сигнала источника космического радиоизлучения. Интерфейс программы управления спектрально-селективным модулем позволяет выбрать участки спектра, свободные от помех, где будет проводиться измерение мощности и отображать мощность сигнала в виде зависимости от времени.

Спектрально-селективная система регистрации позволяет работать в двух радиометрических режимах работы радиотелескопа: модуляционном и в режиме измерения полной мощности. Однако следует отметить, что уве-

личение полосы помеховых сигналов и их количества ведет к потере чувствительности приемного устройства вследствие уменьшения полосы частот регистрируемого сигнала.

Взаимодействие с радиочастотными службами

Благодаря совместной работе с территориальными службами радиоконтроля удается сдерживать рост и число помеховых сигналов, сохраняя приемлемый уровень помех, при котором обеспечивается штатная работа РСДБ-комплекса «Квазар-КВО». Постоянный контроль помеховой обстановки специалистами обсерваторий — не реже одного раза в квартал — позволяет своевременно выявлять источник помех и оперативно информировать службу радиоконтроля с целью выработки мер по обеспечению электромагнитной совместимости РЭС пользователей радиочастотного спектра.

Ниже приведены положительные примеры взаимодействия с радиочастотной службой.

В 2012 г. на основании обращения в ИПА РАН ФГУП «ГРЧЦ» в Северо-Западном федеральном округе принял решение об ограничении работы базовых станций мобильного оператора «TELE2» на частотах, попадающих в диапазон приемных устройств радиотелескопа РТ-32.

В 2014 г. вблизи радиотелескопа обсерватории «Светлое» зафиксирована работа источника помех, блокирующего работу ПУ радиотелескопа диапазона 13 см. В результате проведенных радиочастотным и службами мероприятий выявлена несанкционированная работа Wi-Fi устройств и базовых станций операторов мобильной связи. РЭС источники помех были выключены.

Однако при проведении описанных выше работ по борьбе с помехам возникает несколько существенных трудностей. Временной промежуток между фиксацией помехового воздействия на радиотелескопе и выключением владельцем источника помехового излучения по поручению радиочастотных служб может составлять до нескольких месяцев. Также необходимо иметь в виду, что часть помеховых воздействий имеет случайный характер и может отсутствовать на момент проведения радиочастотной службой работ по обнаружению помех на территории обсерватории.

Следует отметить, что взаимодействие со службами радиоконтроля возможно только при условии регистрации ПУ радиотелескопов в соответствии с законом «О связи» №126-ФЗ.

На данный момент все частотные диапазоны радиотелескопа РТ-32 обсерватории «Светлое» зарегистрированы на первичной основе относительно других РЭС до декабря 2026 г., что позволяет на законных основаниях обращаться за защитой от помех в территориальное отделение Государственного радиочастотного центра.

Заключение

В последнее время, несмотря на предпринимаемые организационные меры по защите РЭС РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» от помех, наблюдается рост числа источников помех в L- и S-диапазонах частот. Происходит постепенное заполнение помехами участков этих частотных диапазонов, что влияет на

качество проводимых наблюдений. В обозримом будущем, по мере развития инфраструктуры на прилежащих к обсерватории территориях, следует ожидать еще большего роста числа РЭС, работающих в частотных диапазонах приемных систем радиотелескопов, и дальнейшего ухудшения помеховой обстановки.

В этих условиях представляется целесообразным более интенсивно взаимодействовать с радиочастотными службами для проведения мероприятий ограничительного характера на параметры РЭС постановщиков помех на территории, примыкающей к радиотелескопам РСДБ-комплекса «Квазар-КВО».

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП/УНУ «Радиоинтерферометрический комплекс «Квазар-КВО».

Л и т е р а т у р а

1. *Финкельштейн А. М., Ипатов А. В., Кайдановский М. Н. и др.* Радиоинтерферометрическая сеть «Квазар-КВО» — базовая система координатно-временного обеспечения // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2005. — Вып. 13. — С. 104–138.

2. *Иванов Д. В., Мардышкин В. В., Лавров А. С., Евстигнеев А. А.* Трехдиапазонная приемная система для радиотелескопов с малыми антеннами // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2013. — Вып. 27. — С. 197–203.

3. *Ипатов А. В., Кольцов Н. Е., Крохалев А. В.* Радиометрическая система радиотелескопа РТ-32 // Приборы и техника эксперимента. — М.: Наука, 2005. — №4. — С. 66–75.

4. О порядке реализации проектов строительства (реконструкции, модернизации, технического перевооружения) объектов, являющихся активными источниками электромагнитных излучений и расположенных в специальной (координационной) зоне радиоастрономической обсерватории «Светлое»: постановление Правительства Ленинградской области от 30.11.2001 № 119 // Вестник Правительства Ленинградской области №1, 21.02.2002.

5. О приведении отдельных нормативных правовых актов Ленинградской области в сфере градостроительной деятельности в соответствие с федеральным законодательством: постановление Правительства Ленинградской области от 21.12.2007 № 332 // Вестник Правительства Ленинградской области № 36, 16.04.2012.

6. *Ilin G.* Radio frequency interference at QUASAR Network Observatories // 20th EVGA Meeting & 12th Analysis Workshop, Bonn, March 29–31, 2011. — P. 105.

7. *Гренков С. А., Кольцов Н. Е.* Спектрально-селективный модуль радиометра с защитой от радиопомех // Известия вузов. Радиофизика. — Том. 58, № 7. — 2015. — С. 577–586.

RFI at the “Svetloe” Observatory

**T. S. Andreeva, A. V. Isaenko, A. A. Tsaruk,
G. N. Ilin, S. A. Grenkov, I. A. Rahimov**

The paper describes the results of the changes in the RFI environment at the observatory “Svetloe” of the “Quasar-KVO” VLBI network. The methods and equipment used to monitor and reduce the effects of radio interference on radio telescopes are outlined. Particular attention is paid to bandwidth filtering using a spectrally selective radiometric unit. A positive experience of interaction with the General Radio Frequency Center in the North-West Federal District is also noted in order to maintain an acceptable level of radio interference.

Keywords: RFI environment, interference mitigation techniques, interference filtering, spectrally selective radiometric unit.