

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 520.374 + 520.844

### Е-РСДБ НА РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ “КВАЗАР-КВО”

© 2013 г. А. В. Ипатов, И. А. Безруков, А. Г. Михайлов, А. И. Сальников, И. Ю. Белоусов\*,  
Ю. А. Миронов\*, А. А. Манзаров\*, М. Б. Петелина\*

*Институт прикладной астрономии РАН*

*Россия, 191187, Санкт-Петербург, наб. Кутузова, 10*

*\*Бурятский филиал ОАО “Ростелеком”, Улан-Удэ, ул. Ленина, 42*

Поступила в редакцию 23.08.2012 г.

Представлены результаты экспериментальных исследований по передаче данных часовых и суточных РСДБ-сессий из обсерватории “Бадары” в Центр корреляционной обработки РАН Санкт-Петербурга в канале связи с пропускной способностью 300 Мбит/с.

DOI: 10.7868/S0032816213050169

#### ВВЕДЕНИЕ

Технология электронной передачи РСДБ-данных (радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами) в реальном времени (электроник-РСДБ или е-РСДБ, международная аббревиатура – e-VLBI (Very-long-baseline interferometry)) в настоящее время широко используется астрономическим сообществом за рубежом и в перспективе планируется основной технологией передачи данных из обсерваторий в центры корреляционной обработки данных [1, 2].

В ИПА РАН на радиоинтерферометрическом комплексе “Квазар-КВО” [3–5] развернута технология передачи данных РСДБ-наблюдений в режиме е-РСДБ по волоконно-оптическим линиям связи [6–8] в квазиреальном времени. Внедрение этой технологии на РСДБ-комплексе “Квазар-КВО” стало возможным только после создания волоконно-оптических линий связи между обсерваториями и узлами доступа в магистральные каналы связи (“последняя миля”) и оснащения обсерваторий современной сетевой и регистрирующей аппаратурой.

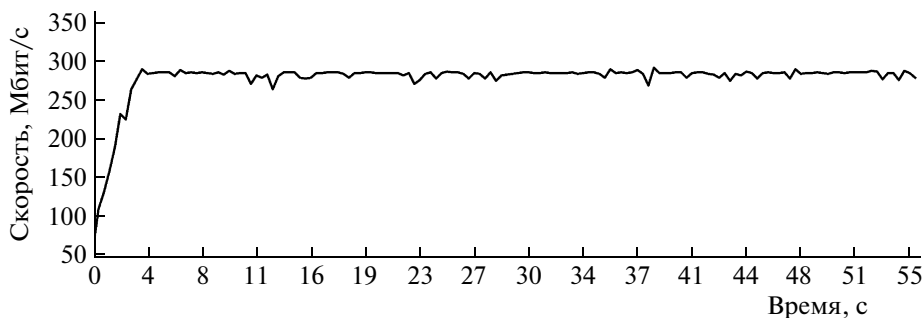
#### КАНАЛЫ СВЯЗИ

Начиная с 2009 года ИПА РАН осуществляет передачу данных часовых сессий (принятое обозначение Ru-U) в технологии е-РСДБ для определения Всемирного времени для глобальной навигационной системы ГЛОНАСС [9–11]. С 2010 года передача данных в режиме е-РСДБ осуществляется раз в неделю, а с июля 2012 года – ежедневно. Данные РСДБ-наблюдений передаются одновременно из трех обсерваторий комплекса “Квазар-КВО” в Центр корреляционной обработки (ЦКО) РАН по отдельному каналу свя-

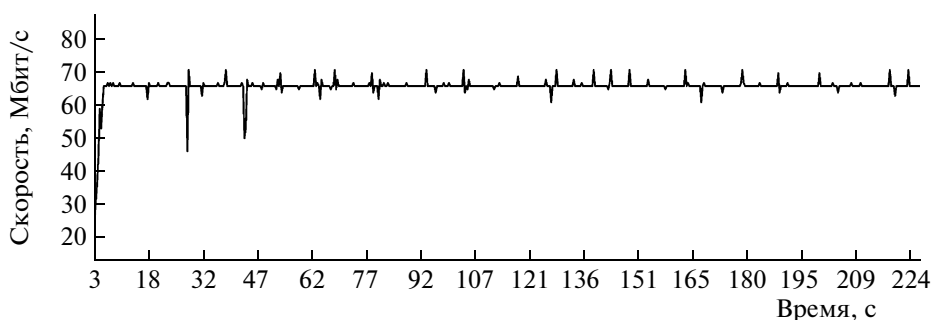
зи из каждой обсерватории. Пропускная способность канала связи от каждой обсерватории составляет 100 Мбит/с. Пропускная способность канала связи наряду с протоколом передачи данных является определяющей для достижения оперативности получения Всемирного времени. Оперативность является важнейшим параметром для системы ГЛОНАСС и напрямую связана с точностью навигационного обеспечения.

Следует отметить, что только РСДБ-технология обеспечивает высокоточное абсолютное определение Всемирного времени [12].

В настоящее время процесс передачи данных часовых РСДБ-сессий и получение Всемирного времени по этим данным в ЦКО РАН полностью автоматизирован [13]. Однако используемые каналы связи с пропускной способностью порядка 100 Мбит/с обеспечивают только режим квазиреального времени. Для достижения режима реального времени требуется более широкая полоса канала связи, в которой передача и обработка данных происходит с темпом получения данных при наблюдениях. Предоставленный Бурятским филиалом ОАО “Ростелеком” широкополосный канал связи с пропускной способностью 300 Мбит/с позволил впервые экспериментально проверить возможность организации режима реального времени не только для часовых РСДБ-сессий, но и для суточных РСДБ-сессий. Реализация такого режима наблюдений позволяет не только существенно повысить оперативность получения результата, но и обеспечивает возможность оперативно корректировать сам процесс наблюдений.



**Рис. 1.** Зависимость скорости передачи одного скана часовой сессии Ru-U204 от времени. Средняя скорость передачи данных 277 Мбит/с, время передачи данных 55 с.



**Рис. 2.** Зависимость скорости передачи одного скана часовой сессии Ru-U185 от времени. Средняя скорость передачи данных 65 Мбит/с, время передачи данных 224 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

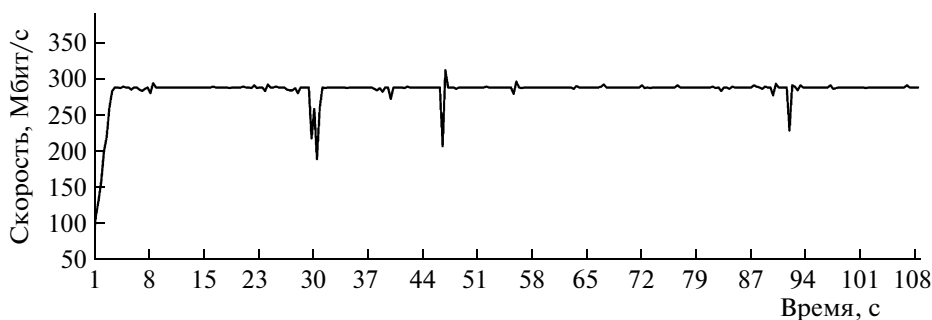
При проведении наблюдений объем наблюдаемых данных часовой РСДБ-сессии (за сессию наблюдаются примерно 20 радиостанций) составляет величину порядка 40 Гбайт, а для суточной РСДБ-сессии (за сессию наблюдаются примерно 400 радиостанций) – 1.4 Тбайт.

Алгоритм наблюдений с передачей данных в режиме e-РСДБ предусматривает, что процесс передачи начинается с момента записи первого скана на рабочую станцию буферизации данных в

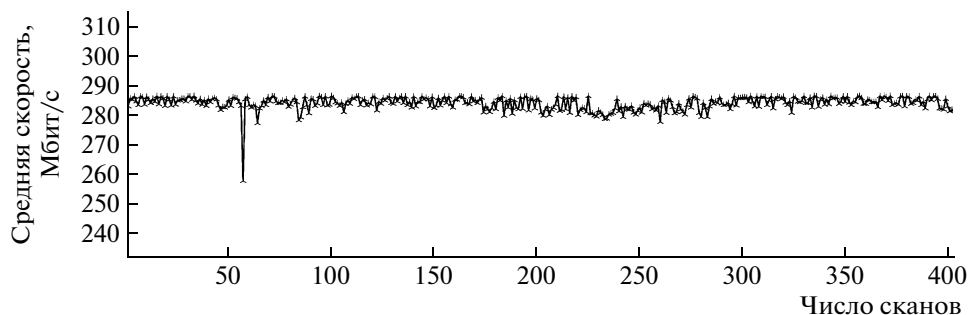
обсерватории в паузах (1.5–2 мин) между регистрацией сигнала от радиостанции.

На рис. 1–4 в качестве примера приведены экспериментальные результаты для часовых РСДБ-сессий Ru-U204 (03.02.2012 г.), Ru-U185 (18.11.2011 г.) и суточной РСДБ-сессии Ru-E150 (05.02.2012 г.), для которой полностью передавались все данные. Во всех экспериментах для передачи данных использовался протокол Tsunami-UDP [14]. Для часовых сессий размер скана составлял 1.8 Гбайт, а для суточных сессий – 3.6 Гбайт.

Общее время передачи всех 21 сканов сеанса Ru-U185 составило 1.5 ч при средней скорости



**Рис. 3.** Зависимость скорости передачи одного скана данных суточной РСДБ-сессии Ru-E150 от времени. Средняя скорость передачи данных 284 Мбит/с, время передачи данных 108 с.



**Рис. 4.** Ряд значений скорости передачи всех сканов суточной РСДБ-сессии Ru-E150. Общее время передачи данных сеанса 13 ч 25 мин 45 с, средняя скорость передачи данных 284 Мбит/с. Общее количество сканов сеанса 405.

передачи данных в канале связи с пропускной способностью 100–63 Мбит/с, а для 22 сканов сеанса Ru-U204 – 0.4 ч при средней скорости передачи данных в канале связи с пропускной способностью 300–277 Мбит/с.

На рис. 1 представлена зависимость скорости передачи одного скана часовой РСДБ-сессии Ru-U204 (03.02.2012 г.) из обсерватории “Бадары” в ЦКО РАН от времени. Передача данных осуществлялась через интернет, т.е. в обычном (public) канале связи с пропускной способностью 300 Мбит/с.

На рис. 2 для сравнения приведен пример зависимости скорости передачи одного скана часовой сессии Ru-U185 (18.11.2011 г.) из обсерватории “Бадары” в ЦКО РАН в обычном (public) канале с пропускной способностью 100 Мбит/с от времени.

На рис. 3 представлена зависимость скорости передачи одного скана суточной сессии Ru-E150 (05.02.2012 г.) из обсерватории “Бадары” в ЦКО РАН от времени, а на рис. 4 – всех сканов суточной сессии Ru-E150 (05.02.2012 г.) в обычном (public) канале с пропускной способностью 300 Мбит/с.

Анализ экспериментальных данных показывает, что для канала связи с пропускной способностью порядка 300 Мбит/с время передачи одного скана часовой РСДБ-сессии объемом 1.8 Гбайт составляет ~60 с. Время передачи одного скана суточной РСДБ-сессии объемом 3.6 Гбайт составляет ~100 с. Общее время передачи данных наблюдений суточной РСДБ-сессии объемом 1.4 Тбайт составило 13.5 ч.

Увеличение пропускной способности канала передачи данных до ~300 Мбит/с позволит сократить время от момента завершения сеанса до получения поправки Всемирного времени приблизительно до 1.5 ч по сравнению с каналом связи 100 Мбит/с [11] и обеспечить практически двукратное повышение оперативности.

Таким образом, в широкополосном канале связи с пропускной способностью ~300 Мбит/с оперативную передачу данных часовой РСДБ-сессии можно осуществлять непосредственно с регистри-

рующего терминала в обсерваториях на воспроизводящий терминал в ЦКО РАН в паузах наблюдений. Это позволит отказаться от буферизующих серверов и обеспечить получение результата практически сразу после часового сеанса наблюдений.

В ближайшей перспективе планируется расширить каналы связи для обсерваторий “Светлое” и “Зеленчукская”, что позволит осуществить режим е-РСДБ как для часовых, так и для суточных РСДБ-сессий в реальном времени.

## ВЫВОДЫ

1. Впервые на РСДБ-комплексе “Квазар-КВО” экспериментально подтверждена возможность передачи данных в реальном времени из обсерватории “Бадары” в ЦКО РАН при использовании канала связи с пропускной способностью 300 Мбит/с. Среднее время передачи одного скана наблюдений часовой РСДБ-сессии объемом 1.8 Гбайт составило величину порядка 60 с, сопоставимую с временем наблюдения радиисточника, равным 60 с. Среднее время передачи одного скана суточной РСДБ-сессии объемом 3.6 Гбайт составило ~100 с. Средняя скорость передачи данных составила 280 Мбит/с.

2. ОАО Бурятский филиал “Ростелеком”, первый из всех операторов связи, предоставил ИПА РАН широкополосный канал связи, что позволило на практике реализовать режим реального времени по передаче РСДБ-данных из обсерватории “Бадары” в ЦКО РАН в Санкт-Петербурге для определения параметров вращения Земли. Оперативно полученные параметры вращения Земли предназначены для обеспечения системы ГЛОНАСС. Для России особенно важно, что результаты получены по национальным высокоточным наблюдениям независимо от данных Международных служб.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kondo T., Koyama Y., Nakajima J. et al.* // General Meeting Proceeding. Tsukuba, Japan. 2002. P. 142; <ftp://ivscs.gsfc.nasa.gov/pub/general-meeting/2002/pdf/kondo.pdf>
2. *Whitney A.R.* // General Meeting Proceeding. Tsukuba, Japan. 2002. P. 137; <ftp://ivscs.gsfc.nasa.gov/pub/general-meeting/2002/pdf/whitney2.pdf>
3. *Финкельштейн А.М., Ипатов А.В., Кайдановский М.Н. и др.* // Труды ИПА РАН. 2005. Вып. 13. С. 104.
4. *Финкельштейн А.М., Гаязов И.С., Губанов В.С. и др.* // Труды ИПА РАН. 2005. Вып. 13. С. 7.
5. *Алехин В.П., Кайдановский М.Н., Сальников А.И.* // Труды ИПА РАН, 2006. Вып. 14. С. 54.
6. *Salnikov A., Finkelstein A., Ipatov A. et al.* // The 8th International e-VLBI Workshop. Madrid, Spain, 22–26 June 2009: [http://pos.sissa.it/archive/conferences/082/098/EXPREs09\\_098.pdf](http://pos.sissa.it/archive/conferences/082/098/EXPREs09_098.pdf)
7. *Безруков И.А., Кайдановский М.Н., Михайлов А.Г., Сальников А.И.* // Труды ИПА РАН. 2010. Вып. 21. С. 41.
8. *Finkelstein A., Ipatov A., Kaydanovsky M. et al.* IVS 2010 General Meeting Proceedings “VLBI 2010: From Visual to Reality” / Eds. D. Behrend, K. Bayer. NASA/CP-2010-215864, 148-152, December 2010; <ftp://ivscs.gsfc.nasa.gov/pub/general-meeting/2010/IVS-2010-General-Meeting-Proceedings.pdf>
9. *Финкельштейн А.М., Скурихина Е.А., Суркис И.Ф. и др.* // Труды ИПА РАН. 2007. Вып. 17. С. 3.
10. *Безруков И.А., Михайлов А.Г., Сальников А.И.* // ПТЭ. 2009. № 5. С. 72.
11. *Финкельштейн А.М., Кайдановский М.Н., Сальников А.И. и др.* // Письма в Астроном. журн. 2011. Т. 37. № 6. С. 470.
12. *Финкельштейн А.М., Гаязов И.С., Губанов В.С. и др.* // Труды ИПА РАН. 2005. Вып. 13. С. 18.
13. *Безруков И.А., Михайлов А.Г., Сальников А.И.* // ПТЭ. 2012. № 6. С. 30.
14. Tsunami-UDP; <http://tsunami-udp.sourceforge.net>