СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕЛЕСКОПАХ ВИРТУАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ (МЦ АМЭИ, САО РАН и БНО ИЯИ РАН)

Н. В. Карпов[1], **А. В. Сергеев**[1], **В. К. Тарадий**[1], **В. Б. Петков**[2], **Ю. Ю. Балега**[3]

[1] *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*
пос. Терскол, Эльбрусский район, 360101 Кабардино-Балкарская Республика, Россия
e-mail: terskol@burbonz.nalnet.ru

[2] *Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН*
пос. Нейтрино, Эльбрусский район, 361609 Кабардино-Балкарская Республика, Россия

[3] *Специальная астрофизическая обсерватория РАН*
пос. Нижний Архыз, Зеленчукский район, 369167 Карачаево-Черкесская Республика, Россия

В регионе Северного Кавказа компактно расположены обсерватории МЦ АМЭИ, САО РАН и БНО ИЯИ РАН. В этих обсерваториях телескопы оснащены приборами для регистрации сигналов почти во всех областях спектра и энергий. Унификация и синхронизация потоков данных этих телескопов позволит проводить астрономические наблюдения на новом уровне и реализовать виртуальную обсерваторию с новыми возможностями для исследования космоса. Ниже приводится анализ основных принципов создания такой обсерватории, описывается ее инфраструктура и потоки получаемой информации. В рамках проекта виртуальной обсерватории на пике Терскол уже установлено оборудование беспроводной сети передачи данных и телекоммуникационный канал связи с БНО.

THE REAL-TIME SYSTEM FOR ASTRONOMICAL OBSERVATIONS ON THE TELESCOPES OF THE VIRTUAL OBSERVATORY FROM ICAMER, SAO RAS, AND BNO INR RAS, by Karpov N., Sergeev A., Tarady V., Petkov V., Balega Yu. – Three large astronomical observatories – ICAMER, SAO and BNO JNR RAS – are located in the compact area of the Northern Caucasus. The observatories are equipped with a wide range of detectors for different wavelengths and energies. The unification and synchronization of data-flows from these telescopes will allow one to carry out astronomical observations at a new level and to realize a virtual observatory with new capabilities for space research. The analysis of the main principles of such observatory and the description of its infrastructure and data-flows are given below. The equipment for data exchange is already installed at the Terskol Observatory to provide a connection with BNO within the project of the virtual observatory.

ВВЕДЕНИЕ

Создание виртуальных обсерваторий привлекает внимание астрономов всего мира. С 2001 г. начаты большие проекты в Европе – Астрофизическая виртуальная обсерватория по гранту Европейской комиссии, в США – Национальная виртуальная обсерватория по гранту NSF и несколько других крупных проектов. В ESO 10–14 июня 2002 г. успешно прошла конференция с символическим названием "Toward an International Virtual Observatory" [1]. В большинстве проектов виртуальные обсерватории описаны как совокупность взаимодействующих через интернет архивов астрономических данных, каждый из которых имеет свой уникальный набор данных, программных систем и возможностей обработки. Однако опыт астрономических наблюдений показал, что накопление уже полученных данных еще не приводит к открытиям, все основные открытия последних лет были неожиданными для астрономов, и каждый раз они ставили новые проблемы познания Вселенной. Во многом так же, как для виртуальных обсерваторий "digital universe", путем объединения реальных обсерваторий можно реализовать проект виртуальной "hardware" обсерватории с новыми возможностями исследований космоса.

АРХИТЕКТУРА ВИРТУАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

В регионе Северного Кавказа компактно расположены три астрономические обсерватории – Специальная астрофизическая обсерватория (САО РАН), Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований (БНО ИЯИ РАН) и обсерватория Международного центра астрономических и медико-экологических исследований (МЦ АМЭИ) на пике Терскол. В этих обсерваториях уникальные телескопы оснащены устройствами регистрации сигналов в самом широком диапазоне спектра. На пике Терскол установлены: 2-м телескоп системы Ричи–Кретьена; большой горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-26 и телескоп Zeiss-600; в БНО ИЯИ – подземный сцинтилляционный телескоп ПСТ; галлий-германиевый нейтринный телескоп ГНТ; ливневые установки “Андырчи” и “Ковер”; в САО – 6-м телескоп БТА; Zeiss-1000 и радиотелескоп РАТАН-600.

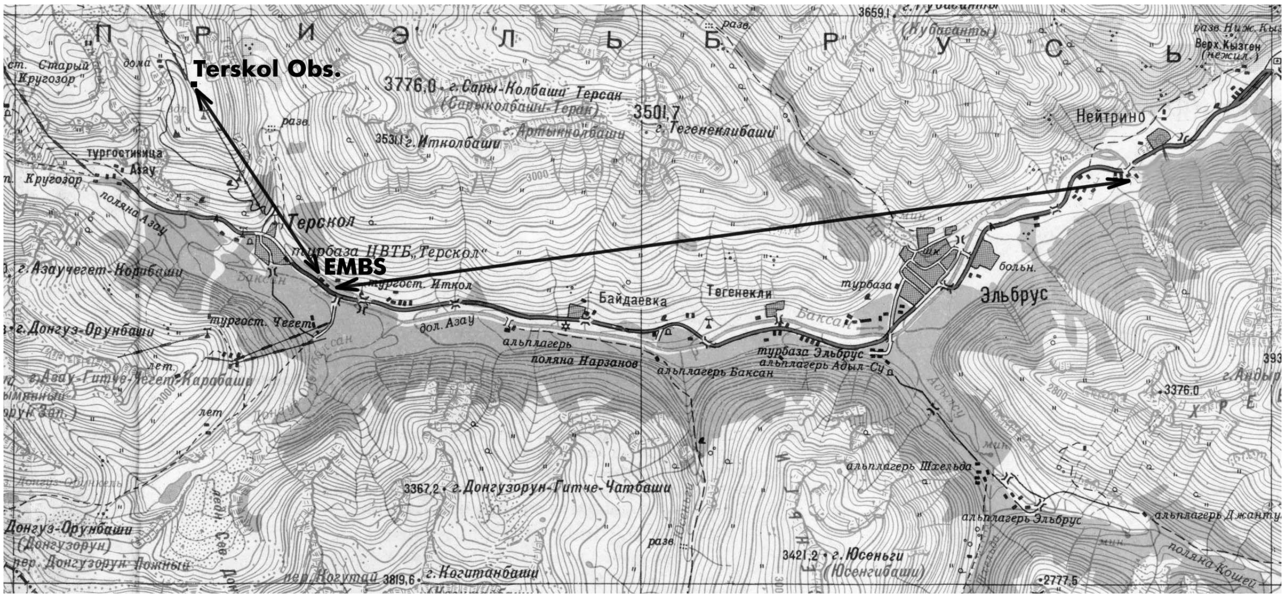

Рис. 1. Карта расположения обсерваторий в регионе Северного Кавказа

Состав наблюдательных комплексов и их специализация позволяют проводить наблюдения в оптическом, радио-, гамма-диапазонах вплоть до регистрации нейтрино. Наблюдательный комплекс 2-м телескопа оснащен несколькими приборами для получения информации – двухканальным фокальным редуктором универсального назначения с интерферометром Фабри–Перо, кудэ-эшеле-спектрографом сверхвысокого разрешения (до 500 000) [2] и скоростным двухканальным фотометром (временное разрешение до 20 мкс). На АЦУ-26 можно получать спектры Солнца в пяти участках одновременно и наблюдать развитие активных процессов в его фотосфере. Телескоп Zeiss-600 в зависимости от установленной приемной аппаратуры обеспечивает наблюдения с потоком информации до 100 Мб/сут.

На ливневых установках БНО “Андырчи” и “Ковер” возможна регистрация всплесков интенсивности гамма-квантов с энергией до 10 ГэВ и всплесков интенсивности протонов (например от Солнца) с порогом геомагнитного обрезания 6 ГэВ. На подземном сцинтилляционном телескопе (ПСТ) регистрируются мюоны от первичных частиц с пороговой энергией 500–1000 ГэВ, в том числе мюоны от протонов, ускоренных во время вспышек на Солнце. Также на ПСТ регистрируются нейтрино от сверхновых в Галактике с пороговой энергией 10 МэВ. Галий-германиевый телескоп измеряет поток нейтрино от Солнца.

Оптический телескоп САО БТА оснащен широким набором наблюдательных приборов – спектрографами MSS, PF, мультиобъектным и мультиканальным спектрографами, эшеле-спектрометрами, цифровым спекл-интерферометром и интерферометром Фабри–Перо. Телескоп Zeiss-1000 оборудован ПЗС-фотометром и кудэ-эшеле-спектрометром CEGS. Радиотелескоп РАТАН-600 предназначен для многочастотных наблюдений (1–31 см) и обладает высокой яркостно-температурной чувствительностью. Он регистрирует сигналы в континууме, предназначен для выполнения спектральных и солнечных наблюдений.

Наблюдательные комплексы обсерваторий имеют возможности определения направлений, временной привязки событий, регистрируют информацию больших объемов и используются в разных режимах суточного функционирования.

СЕТЕВАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ОБЪЕДИНЕНИЯ ОБСЕРВАТОРИЙ. КАНАЛ СВЯЗИ МЦ АМЭИ – БНО

В регионе Приэльбрусья недостаточно развита инфраструктура каналов связи и передачи данных. Лавины и сели регулярно разрушают проводные коммуникации, а расположенные в горах наблюдательные комплексы труднодоступны. В этих условиях для решения телекоммуникационных задач при создании основы корпоративной сети лучшим решением являются беспроводные сети передачи данных (БСПД). Такие сети могут быть реализованы на оборудовании Cisco Aironet 340 и 350 ведущего производителя БСПД – Cisco Systems. В настоящее время реализованы канал связи МЦ АМЭИ и БНО и канал удаленного доступа к наблюдательным комплексам обсерватории Терскол. Структура канала показана на рис. 2. В качестве основы топологии сети использованы беспроводные мосты/маршрутизаторы BR342. Все оборудование работает в диапазоне частот 2.4 ГГц, и при скорости в канале 11 Мбит/с обеспечивает дальность 7–10 км (с усилителем – до 40 км). В канале создана прозрачная среда передачи MAC уровня, что позволяет поддерживать любые приложения. Все устройства в сети поддерживают защиту информации 128-разрядным ключом по алгоритму WEP, предусмотренному стандартом IEEE 802.11.

Телескопы обсерватории Терскол объединены в 100 Мбит/с локальной сети, и через мост и разветвитель передают данные по двум направлениям: 1) на Эльбрусскую медико-биологическую станцию, на мост для рабочей группы WBR (8 мест астрономов-наблюдателей) для удаленного доступа к наблюдательным комплексам, 2) через ретранслятор метеостанции на г. Чегет в направлении БНО и на радиорелейную линию (РРЛ) в п. Тегенекли в направлении САО РАН.

Передача данных через РРЛ по маршруту Тегенекли – Баксан – Черкесск – САО предусматри-

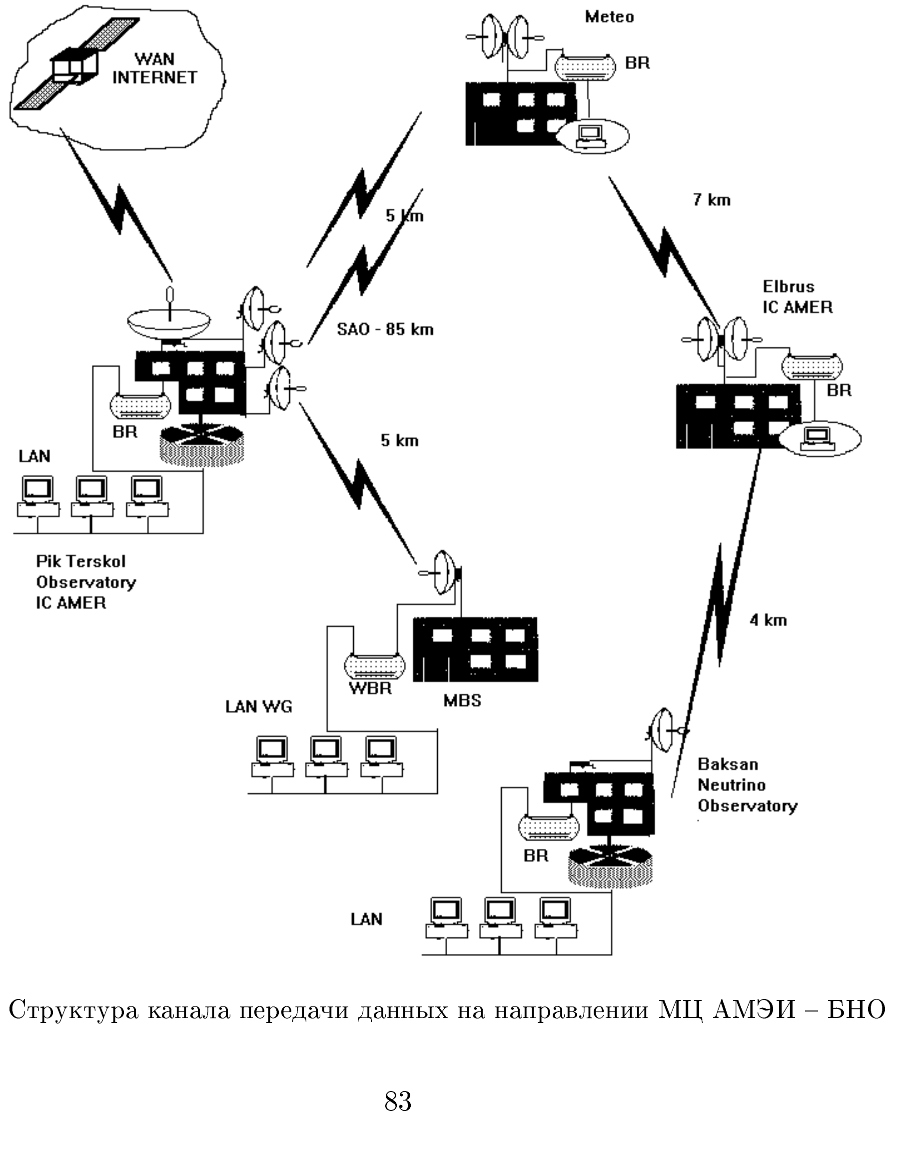

Рис. 2. Структура канала передачи данных на направлении МЦ АМЭИ – БНО

вается через РРЛ-модемы АЦТ 17/2 Radian, предназначенные для передачи восьми асинхронных цифровых потоков по 2 Мбит/с в групповом потоке 17 Мбит/с. Одновременно эта аппаратура обеспечит служебную связь, каналы телесигнализации и телеуправления. Одним из основных режимов работы ВО является проведение синхронных наблюдений.

Характерные объемы получаемой информации можно продемонстрировать на примере совместных наблюдений гамма-вспышек обсерватории Терскол и БНО. Наблюдательный комплекс 2-м телескопа в этом режиме оснащен несколькими приемниками для получения наблюдательной информации. Поля зрения панорамных приемников телескопа изображены на рис. 3, соосно в поле расположены:

– двухканальное фотоприемное устройство фокального редуктора с камерами CCD-1 и CCD-2 с полем зрения размером 8×8 угловых минут. Информация об изображениях глубиной 16 бит поступает в управляющие компьютеры PC-1, PC-2 с пакетами программ для цифровой обработки изображений и измерений координат объекта в реальном времени;

– широкоугольная поисковая камера с двумя CCD приемниками – CCD-3 с полем зрения 32×21 угловых минуты и CCD-4 с полем зрения 12×10 угловых минуты и системой формирования сигналов для гидирования телескопа. Информация об изображениях глубиной 16 бит поступает в компьютер системы управления телескопа на главный пульт;

– офсетный гид с приемником CCD-5 с полем зрения 1×1 угловых минуты и системой формирования сигналов для гидирования телескопа.

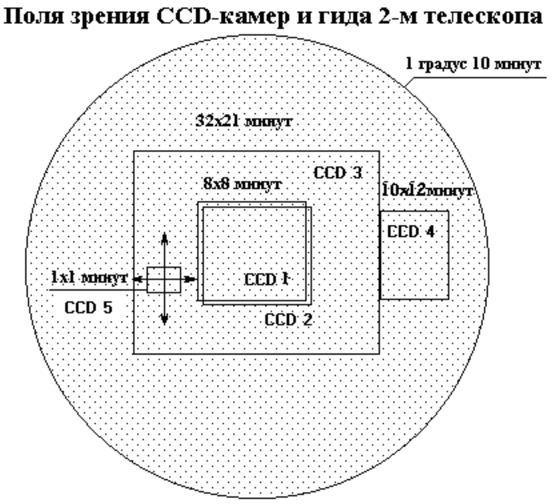

Рис. 3. Схема расположения панорамных приемников 2-м телескопа в режиме наблюдения гамма-вспышек

Темп поступления информации от камер зависит от применяемого интерфейса, но даже в случае времени экспозиции в 1 мс на перекачку изображения затрачивается не менее 10 с. При описанных параметрах камер объем получаемой в каждом кадре информации составляет: от камеры ST-4 – 38 Кб; от камеры ST-7 – 780+38 Кб; от камеры ST-6 – 575 Кб; от рабочей камеры Photometrics1 – 588 Кб; от рабочей камеры Photometrics2 – 588 Кб.

От АЦУ-26 можно получить информацию до 25 Мб/сут. Телескоп Zeiss-600 и 80-см телескоп в зависимости от установленной приемной аппаратуры обеспечат поток данных до 100 Мб/сут. Для ливневых установок БНО "Андырчи" и "Ковер" характерные величины суточных объемов информации составляют 30 Мб и 25 Мб соответственно. От телескопов ПСТ и ГСТ в сутки поступает около 80 Мб данных наблюдений. Для оптических телескопов САО объем суточной информации составляет около 400 Мб, а для радиотелескопа РАТАН-600 – 5 Мб/сут.

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ

В международных кампаниях наблюдений гамма-вспышек выполнен ряд синхронных наблюдений на 2-м телескопе обсерватории Терскол, ливневой установке "Андырчи" и телескопе ПСТ БНО. Инициируют начало наблюдений сообщения из центра данных спутника BEPPOSAX с предварительными координатами вспышки и сообщения GCN в мировой сети наблюдений с быстрыми оценками процесса развития вспышки разными средствами. Как известно, характерные времена послесвечения составляют несколько часов, и изучение таких событий требует высокой готовности как телескопов, так и приемной аппаратуры. Согласно договору о сотрудничестве МЦ АМЭИ и БНО темой совместных исследований является: “Поиск и корреляция астрофизических явлений (гамма-всплески, вспышки на Солнце, взрывы сверхновых и др.), проявляющих себя одновременно в оптическом диапазоне и в космических лучах (протоны и гамма-кванты высокой энергии, нейтрино)”.

В состав наблюдательных комплексов входят

1. От БНО ИЯИ РАН:
– ливневые установки “Андырчи” и “Ковер”,
– Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп.

2. От обсерватории Терскол:
– телескоп Zeiss-2000,
– телескоп Zeiss-600,
– солнечный телескоп АЦУ-26.

Были выполнены: разработка методики поиска и отождествления гамма-всплесков высокой энергии на ливневых установках “Андырчи”, “Ковер” и 2-м телескопе, организация синхронных экспериментов по наблюдению гамма-всплесков [5, 6]. С использованием системы реального времени и приемника GPS Acutime 2000 проведен ряд международных кампаний синхронных наблюдений переменных звезд (вспыхивающих, хромосферноактивных и рентгеновских источников). Кампании проведены в августе, сентябре и октябре 2001 г. с участием обсерваторий: КрАО (Украина, телескоп АЗТ-11, 50″), НАО БАН (Рожен, Болгария, 2-м телескоп), Стефанион (Греция, 30″ телескоп) и обсерватории Терскол (2-м и 60-см телескопы). Эффективность проведения таких наблюдений прямо зависит от быстродействия каналов обмена информацией и скорости анализа получаемых данных.

Наиболее интересным является все же постановка исследований с привлечением всех технических средств и телескопов виртуальной обсерватории. В последние годы в связи с регулярными наблюдениями Солнца из космоса происходит резкий скачок в понимании происходящих там процессов. Начинает проясняться та роль, которую играют корональные выбросы вещества. При этом возникают релятивистские солнечные протоны с энергией более 1 ГэВ, и изучение условий их генерации во вспышках представляет уникальную возможность экспериментального исследования механизмов ускорения частиц до релятивистких энергий в естественных условиях. Средняя частота таких событий составляет одно событие в год, и прояснение этой проблемы ограничено скудостью экспериментальных данных. Для комплексного исследования проблемы в рамках виртуальной обсерватории могут быть задействованы нейтронный монитор и ливневые установки БНО, подземный сцинтилляционный телескоп, горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-26 с пятикамерным спектрографом [4] и эшеле-спектрограф на 2-м телескопе обсерватории Терскол [2], радиотелескоп РАТАН-600 в САО. Для решения оперативных задач необходимо наряду с долговременными программами наблюдений обеспечить быстрое реагирование на происходящие события. Такие возможности должны быть подкреплены полнотой калибровочных данных и инструментальных характеристик для всех приборов, которые могут быть задействованы в наблюдениях, а также системой контроля качества полученных данных.

УПРАВЛЕНИЕ ДАННЫМИ И АРХИВ НАБЛЮДЕНИЙ

Удаленный доступ к данным и средствам наблюдений – основное в системе виртуальной обсерватории. Такой доступ может быть получен и через интернет. Система реального времени для накопления и архивизации наблюдательных данных должна обеспечивать весь цикл проведения наблюдений, который включает:

- разработку программы наблюдений (выбор объектов исследования, выбор методики и инструментальных средств, планирование наблюдательного времени и составление расписания наблюдений),
- проведение наблюдений на телескопах (управление телескопами и устройствами приема и анализа излучения, регистрация и сбор наблюдательных данных) и синхронизацию работы с телескопами других обсерваторий,
- объединение информационных потоков и обработку наблюдательного материала с архивизацией данных в локальном архиве (первичная редукция с помощью специализированного программного обеспечения, архивация в буферном и постоянном архиве, оптимизация путей доступа к данным). Разработаны программы оперативного анализа получаемых кадров для

быстропеременных объектов. Данные анализа позволяют скорректировать программу наблюдений упомянутых объектов в реальном масштабе времени. Разработана и используется система информационной поддержки наблюдений на 2-м телескопе на пике Терскол [3].

После записи файла наблюдений начинается процесс архивизации наблюдения, состоящий из трех взаимосвязанных частей: сбора данных, долговременного хранения и извлечения необходимых данных из архива. Схема архивизации данных – четырехуровневая, в которой данные переходят последовательно с одного уровня архива на другой, находясь на каждом уровне определенный период времени, кроме четвертого, где они хранятся постоянно. Архив состоит из четырех слоев или уровней хранения:

– первый уровень – буферный архив;
– второй уровень – промежуточный архив;
– третий уровень – оперативный архив;
– четвертый уровень – CD-библиотека.

Буферный архив – это область дискового пространства выделенного файл-сервера под каждый наблюдательный комплекс.

После окончания этапа наблюдательной программы наблюдения передаются в архив. Ответственный наблюдатель сам определяет потоки информации, сроки обмена между системой сбора и буферным архивом (ежесуточный, по окончанию этапа и т. д.), формат наблюдательных данных, а также дублирование файлов как на компьютере системы сбора, так и в буферном архиве.

Затем данные переносятся в оперативный архив на RAID и одновременно погружаются в среду СУБД. В оперативном архиве происходит упорядочивание данных, возможна коррекция параметров, описывающих наблюдение, сборка мусора. После коррекции информации формируется образ диска и данные переносятся на CD-диски для постоянного хранения в CD-библиотеке. Все локальные базы наблюдательных данных объединены по корпоративной сети друг с другом для поиска необходимой информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Организация на Северном Кавказе прототипа региональной виртуальной обсерватории вполне осуществима при тех довольно скромных ресурсах, которыми сейчас располагают обсерватории. Усилить роль наземной астрономии и реализовать новые возможности исследований можно только в тесном сотрудничестве и при полноценном участии физиков и астрофизиков в постановке, обработке и анализе наблюдений. В процессе наблюдений и последующей передачи данных пройдут проверку работоспособность локальных ресурсов, корректность работы программного окружения, процедура удаленного обмена большими объемами данных и работа распределенной базы данных наблюдений.

Опыт сотрудничества в выполнении наблюдательных программ интересных объектов и событий показал, что они сами объединяют астрономов в активном исследовании явления, и появление возможностей быстрого и всестороннего on-line-анализа получаемой информации позволит в большой степени оптимизировать стратегию наблюдений и повысить их продуктивность. Важной частью проекта является разработка сетевой инфраструктуры, которая объединяет обсерватории скоростными каналами передачи данных между активными наблюдательными комплексами в реальном масштабе времени и формирует наборы мультиинструментальных данных наблюдений.

Проект поддержан Российским фондом фундаментальных исследований (грант 01-07-90183).

[1] http://www.eso.org/AVO/

[2] *Мусаев Ф. А., Галазутдинов Г. А., Сергеев А. В. и др.* Кудэ-эшеле-спектрометр для 2-м телескопа на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.–1999.–**15**, № 3.–С. 282–287.

[3] *Karpov N. V., Jockers K.* Information support of observations at the 2-m telescope of Pik Terskol observatory // Kinematics and Physics of Celestial Bodies.–2000.–**16**, N 4.–P. 34–37.

[4] *Andriyenko O. V., Karpov N. V., Sergeev A. V.* Characteristics and Perspectivies of the Horisontal Solar Telescope at Peak Terskol // Abs. WS EAS Solar reseaches in the south-eastern european countries: present and perspectives, April 2001, Bucharest, Rumania.

[5] *Sergeev A., Petkov V., Poddubny V., et al.* GCN GRB Observation Report 1206 // Circ.–2001.

[6] *Sergeev A., Karpov S., Petkov V., et al.* GCN GRB Observation Report 1367 // Circ.–2002.