

## Распределенная система приема и обработки спутниковых данных Сибири и Дальнего Востока. Текущее состояние и перспективы развития

Ю.И. Шокин<sup>1</sup>, В.Н. Антонов<sup>3</sup>, Н.Н. Добрецов<sup>1</sup>, В.А. Кихтенко<sup>1</sup>, А.А. Лагутин<sup>2</sup>,  
В.В. Смирнов<sup>1</sup>, Д.Л. Чубаров<sup>1</sup>, Л.Б. Чубаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт вычислительных технологий СО РАН,  
630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6  
E-mail: ict@ict.nsc.ru;

<sup>2</sup> Алтайский государственный университет,  
656049, Барнаул, пр. Ленина, 61  
E-mail: lagutin@theory.asu.ru;

<sup>3</sup> ФГБУ СЦ «НИЦ «Планета»,  
630099, Новосибирск, ул. Советская, 30  
E-mail: avn@rcpod.siberia.net

Содержание статьи связано с одним из важных инфраструктурных проектов Сибирского отделения РАН по разработке информационно-вычислительного инструментария для обеспечения доступа к данным дистанционного зондирования Земли. Рассматриваются вопросы глубокой обработки этих данных, их каталогизации, архивирования и хранения с использованием современных аппаратных средств, математических моделей и алгоритмов. Обсуждаемая конкретная ситуация, связанная с созданием соответствующей инфраструктуры, касается не только данных дистанционного зондирования Земли, но и данных, необходимых для решения разнообразных задач мультидисциплинарного мониторинга и поступающих от любых других источников. Телекоммуникационной основой проекта является Система передачи данных СО РАН, являющаяся одной из самых крупных корпоративных научно-образовательных сетей России.

**Ключевые слова:** спутниковый мониторинг, обработка данных, TERRA, AQUA, SPOT.

### Введение

Институтом вычислительных технологий СО РАН и Вычислительным центром ДВО РАН совместно с рядом заинтересованных институтов Сибирского и Дальневосточного отделений РАН, а также организаций других ведомств на протяжении ряда лет развивается информационная инфраструктура, обеспечивающая хранение, архивацию и пользовательский доступ к данным дистанционного зондирования и наземных наблюдений. Эти работы направлены на создание современной системы информационной поддержки научно-исследовательской деятельности и обеспечение научных коллективов данными о состоянии и динамике окружающей среды и социально-экономических процессов.

Ключевым элементом создаваемой инфраструктуры является распределенная система приема и обработки спутниковых данных по территории Сибири и Дальнего Востока. В статье представлены основные технологические решения, лежащие в основе системы и отдельных её компонент, из которых важнейшим является аппаратная инфраструктура хранения и передачи данных, обеспечивающая функционирование алгоритмов обработки данных и сервисов, предоставляющих доступ к данным пользователям.

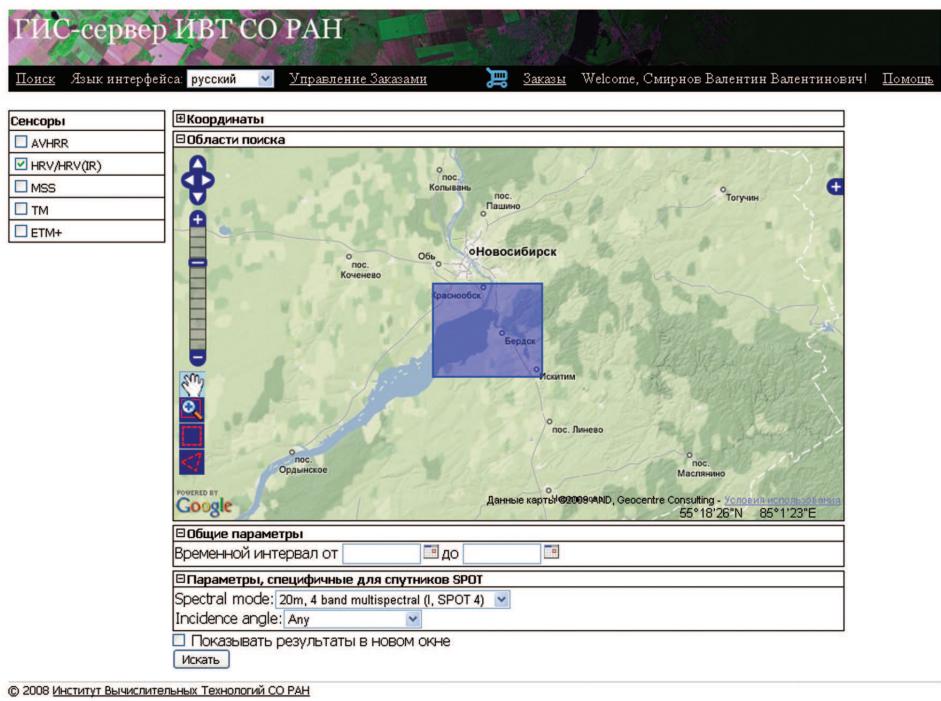
Статья имеет следующую структуру. В разделе “История возникновения системы” изложены предпосылки и основные этапы развития системы. В разделе “Технологии обработки” представлены некоторые оригинальные алгоритмические решения реализованные в системе, в разделе “Сервисы доступа” речь идет о пользовательских интерфейсах, а в разделе “Перспективные направления работы” – результаты, полученные в 2012 году, благодаря которым удалось расширить зону покрытия спутниковыми данными, представленными в системе, на всю восточную часть территории России.

## История возникновения системы

В середине 2000-х годов в ходе выполнения ряда исследовательских проектов Сибирского отделения РАН, крайне остро возникла проблема организации доступа научного сообщества к пространственной информации и данным дистанционного зондирования Земли в частности. К этому моменту в СО РАН функционировала крупнейшая в России научно-образовательная телекоммуникационная сеть – Система передачи данных (СПД) СО РАН, объединяющая Новосибирский научный центр с организациями СО РАН, размещенными за Уралом от Тюмени до Читы, Улан-Удэ, Якутска. В структуре СПД СО РАН Институт вычислительных технологий (ИВТ) СО РАН выполняет центральное управление и общий контроль, обеспечивая, одновременно, наборы централизованных сервисов, в том числе информационных и мультимедийных. К моменту начала работ в состав телекоммуникационной инфраструктуры Сибирского отделения были включены значительные современные высокопроизводительные вычислительные ресурсы и хорошо развитые сервисы хранения данных.

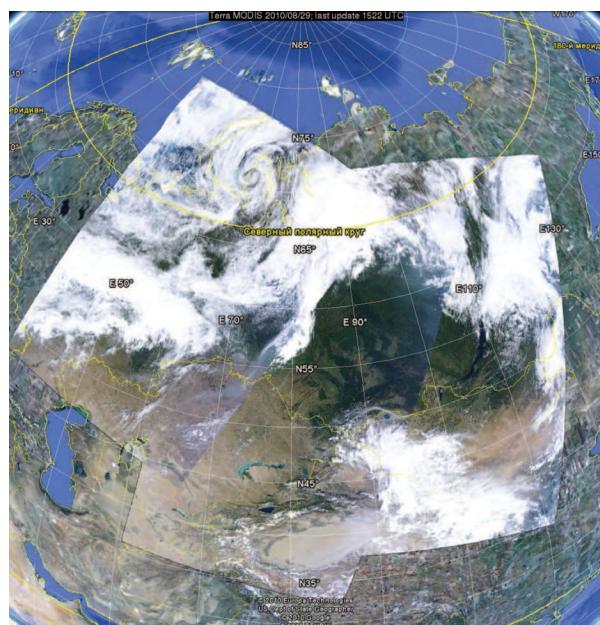
Указанные предпосылки, подкрепленные инициативой Полпреда Президента РФ в Сибирском федеральном округе, позволили приступить в 2007 году к созданию Центра мониторинга состояния природной среды и социально-экономических процессов. Для решения ключевого вопроса об источнике объективных данных было заключено соглашение о сотрудничестве в области обработки данных дистанционного зондирования с Западно-Сибирским региональным центром приема и обработки данных (ЗапСибРЦПОД, впоследствии СЦ НИЦ “ПЛАНЕТА”). В рамках этого соглашения, была организована совместная межведомственная лаборатория, в задачи которой входило развитие технологий обработки спутниковой информации. Важнейшим этапом развития проекта, стало строительство выделенной волоконно-оптической линии между Новосибирским научным центром и выносным комплексом Сибирского центра НИЦ “ПЛАНЕТА” (Новосибирский район, п. Новый), пропускной способностью 1 Гбит/с. С использованием созданной телекоммуникационной инфраструктуры в 2008 году сибирское академическое сообщество получило оперативный доступ к данным, передаваемым космическим аппаратом (КА) SPOT2/SPOT4<sup>1</sup>. К настоящему моменту, в архиве данных содержится порядка 480 000 сцен на территорию Сибири и Азиатского региона. Доступ к этим данным предоставляется сервисами Информационной системы спутниковых данных (ИССД) ИВТ СО РАН (рис. 1). Пользователями каталога данных являются сотрудники более 30 институтов и организаций Сибирского отделения РАН.

<sup>1</sup> В настоящее время прием данных КА SPOT2 не ведётся в связи с поломкой и последующим выводом с орбиты. Данные КА SPOT4 доступны до конца 2012 года, в начале 2013 спутник будет выведен из эксплуатации и затоплен.



*Рис. 1. Интерфейс Информационной Системы Спутниковых Данных  
<http://catalogue.ict.nsc.ru>, <http://sdc.esetc.nsc.ru>.*

В 2009 году на базе созданной инфраструктуры был развернут комплекс по сбору и архивированию данных оперативной спутниковой телеметрии, поступающей с КА TERRA и AQUA. Использование приемного оборудования СЦ НИЦ “ПЛАНЕТА” позволило обеспечить бесперебойный прием данных в режиме реального времени. Так, для приема с платформ Terra/Aqua задействованы две станции MEOS, обеспечивающие аппаратную распаковку потока данных в автоматическом режиме. Благодаря своему расположению приемный комплекс поставляет информацию по всей Сибири, части Дальнего Востока и Якутии, а также по территориям Урала и Центральной России включая часть Московского региона (рис. 2.).



*Рис. 2. Покрытие территории России оперативными данными TERRA/AQUA, прием обеспечивается Сибирским Центром “НИЦ ПЛАНЕТА” (по состоянию на 2010 год)*

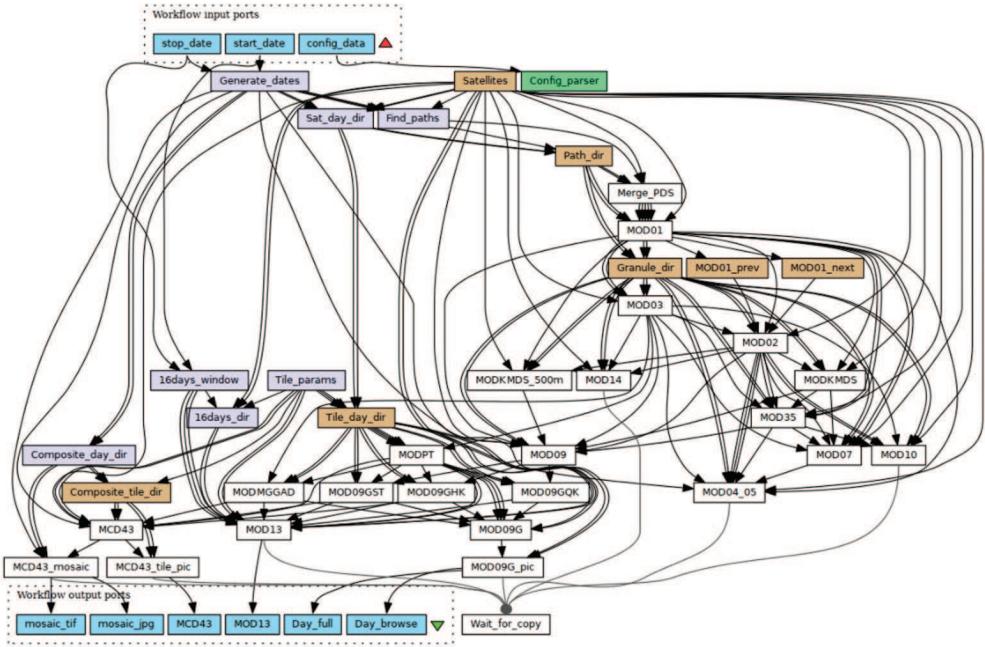
Для решения задач обработки поступающего потока данных на базе информационно-вычислительной инфраструктуры ИВТ СО РАН при активном участии сотрудников Центра космического мониторинга Алтайского государственного университета (руководитель центра д.ф-м.н., проф. Лагутин А.А.) развернут вычислительный комплекс обработки потока поступающих “сырых” данных. К настоящему времени реализована цепь алгоритмов PGE (Product Generation Executable, NASA DRLab), обеспечивающих обработку данных сенсора MODIS до продуктов уровня L2G/L3. Сотрудники Центра космического мониторинга Алтайского государственного университета (АГУ) и совместной лаборатории АГУ и ИВТ СО РАН осуществляют сборку, тестирование и сопровождение модулей обработки данных сенсоров MODIS и AIRS, реализующих созданные ими оригинальные алгоритмы (Лагутин, 2007). При последующей адаптации алгоритмов, сотрудниками Института вычислительных технологий были добавлены программные компоненты для потоковой обработки, а также компоненты автоматической архивации данных и управления вычислительным комплексом (Шокин, Смирнов, 2009).

## Технологии обработки

Большая работа проделана коллективом разработчиков по формированию вычислительно-телекоммуникационной инфраструктуры. В процессе запуска и тестирования комплекса обработки, была определена оптимальная схема организации телекоммуникационного взаимодействия вычислительных узлов, систем хранения и другого оборудования. Для ее реализации использовалось высокопроизводительное коммутационное оборудование фирмы Cisco, позволившее реализовать специализированный сегмент сети с реальной пропускной способностью 1 гигабит в секунду на порту. Этот сегмент объединяет вычислительные модули комплекса, системы хранения данных оперативного хранения, а также промышленную систему хранения данных EMC Clariion, используемую для хранения результатов обработки. В 2012 году приобретено и запущено в эксплуатацию масштабируемое сетевое файловое хранилище на базе технологии OneFS фирмы Isilon.

Для выполнения полного цикла обработки данных оперативного спутникового мониторинга, поступающих в режиме on-line, в ИВТ СО РАН развернут вычислительный кластер, объединивший вычислительные мощности института. В настоящее время технологические цепочки получения стандартизованных и собственных тематических продуктов реализованы на действующем прототипе оригинальной системы управления потоковыми вычислениями, созданной с использованием системы Taverna (Hull et al., 2006), что обусловлено, с одной стороны, моделью вычислений, хорошо подходящей для описания процесса обработки спутниковых снимков, а, с другой, – богатыми возможностями для расширения её функционала через подключаемые модули (рис. 3). Алгоритм обработки в Taverna представляется в виде набора «процессоров» – черных ящиков с некоторым количеством входных и выходных портов. Порты процессоров связаны друг с другом и образуют ациклический граф, который описывает передачу параметров между процессорами и определяет ограничения на порядок запуска процессоров. Любой порт может быть определен как одиночный или списковый. При этом нет ограничений на связи портов друг с другом. Передача списка на одиночный порт приводит к запуску процессора для каждого элемента списка, причем отдельные итерации могут быть произведены параллельно. И, наоборот, при связи одиночного порта со списковым будет произведена синхронизация всех итераций порождающего

процессора, а значения на выходных портах будут объединены в список и переданы дочернему процессору. В этих терминах удобно выражать такие операции как нарезка исходного снимка на гранулы и сбор всех снимков за день для получения агрегатного продукта.



*Рис. 3. Схема обработки данных, реализованная на основе разработанной системы управления потоковыми вычислениями*

Для реализации возможностей системы Taverna написан встраиваемый модуль (плагин), позволяющий использовать сценарии, написанные на командном языке BASH, (Bash-скрипты) в качестве процессоров. Каждый из них отвечает за подготовку параметров и запуск одной программы-обработчика. Значения входных портов подставляются в качестве переменных окружения, а значения выходных портов такжечитываются из состояния переменных скрипта на момент завершения. Такой плагин обеспечивает независимость от того, на каком устройстве будет исполнен скрипт. В настоящее время поддерживаются выполнение на локальной машине, на удаленной машине с доступом по SSH, либо на вычислительном кластере с системой управления очередями заданий Torque или Slurm. Единственным требованием является наличие общей файловой системы для всех узлов, участвующих в обработке.

Существенным особенностью системы обработки является то, что сами снимки имеют большой размер, вплоть до нескольких гигабайт. Внутри системы Taverna мы оперируем лишь ссылками на них, и вся нагрузка, связанная с передачей данных от одного модуля на другой, ложится на файловую систему (ФС). В то же время, общий объем обрабатываемых данных не позволяет хранить продукты только на быстрых локальных дисках, неизбежно приходится использовать сетевые системы хранения (СХД) данных.

Испытания новой версии комплекса показали, что на 16-ядерном сервере при использовании локальной дисковой файловой системы он обеспечивает ускорение дневной обработки почти в 5 раз по сравнению с полностью последовательной версией. Использование сетевой СХД ухудшило время обработки в 1.5 раза, и, при этом, наблюдалась стагнация распараллеливания: увеличение числа активных потоков более 12 не давало прироста производительности. Работа в распределенном режиме на кластере из нескольких машин давала даже худшие результаты.

Проведенный анализ производительности показал, что виной такому поведению является характер доступа к данным снимка при обработке. Обращения к файлам происходят в основном случайным образом. Это приводит к деградации производительности на сетевых файловых системах. Локальные файловые системы используют кеш в оперативной памяти, что сглаживает случайный характер доступа к данным. В то же время, в сетевых файловых системах кеширование затруднено в силу сложности поддержания когерентности.

Для преодоления неэффективности сетевых ФС мы действуем следующим образом. Модули обработки запускаются на локальном диске, а затем результаты асинхронно копируются на сетевое хранилище. При запуске каждого модуля, мы стараемся выбрать узел для него так, чтобы максимальное количество данных лежало на его локальном диске. Таким образом, достигаются сразу несколько положительных эффектов. Во-первых, продукты копируются на СХД последовательно и целиком. Это наилучший режим работы для практически любой системы хранения. Во-вторых, чтение данных производится, по возможности, с быстрого локального диска. И, в-третьих, на локальном диске нужно хранить только данные, участвующие в текущем процессе обработки, а не весь архив данных. Все вместе это позволяет обрабатывать объемы данных возможные только для сетевой СХД с производительностью локальных файловых систем.

С учетом предложенной оптимизации производительность распределенной системы на небольших наборах данных практически сравнялась с производительностью локальной версии. А при увеличении объемов обработки (например, пересчет всех продуктов за предыдущий месяц), производительность системы ограничивается только скоростью последовательной записи на внешнюю систему хранения.

В результате запуска разработанной системы были получены временные характеристики, позволяющие перейти к концептуально иной схеме работы с данными – получения продуктов под заказ в приемлемые временные сроки, в том числе различные наборы продуктов за большие периоды времени.

Созданный вычислительный комплекс обеспечивает распределенную потоковую обработку данных в режиме реального времени и архивирование потока “сырых” данных. Объем ежедневного продукта составляет порядка 70-90 гигабайт информации. Общий объем используемого системой дискового пространства в настоящее время составляет порядка 400ТБ. Работа комплекса приема и обработки полностью автоматизирована и не требует вмешательства оператора, за исключением функций управления расписанием приема, корректировки параметров алгоритмов и общего контроля работы комплекса.

## **Сервисы доступа**

С целью организации доступа к продуктам реализован набор сервисов доступа к данным и к дополнительной сопряженной информации. Основная часть продуктов обработки данных КА Terra/Aqua доступны по протоколу FTP/HTTP [<ftp://ftp.esemc.nsc.ru>]. Данные, предоставляемые ресурсами каталога КА SPOT2/4, доступны после оформления и подтверждения заказа через защищенные интерфейсы. Для контроля доступа используется сервис Central Authentication Service (CAS), разрабатываемый в рамках проекта JA-SIG [<http://www.ja-sig.org/products/cas/index.html>]. Для визуального контроля оперативного покрытия территории создан интерфейс с использованием API Google Earth и технологий AJAX. В нем

реализована работа с технологиями геосервисов (протокол WMS), и поддерживается работа со слоями данных в форматах KML/KMZ. Также возможна визуализация данных (рис. 4.) в других приложениях, поддерживающих протокол WMS, или работу с покрытиями KML [<http://app.esemc.nsc.ru/satview>].

С целью объединения всех возможностей системы запущен в эксплуатацию центральный информационный ресурс, являющийся общей точкой входа для всех информационных ресурсов комплекса [<http://sdc.esemc.nsc.ru>]. Соответствующий сервис обеспечивает навигацию по информационным ресурсам комплекса и получение оперативной информации по покрытиям территории и по состоянию обработки данных.

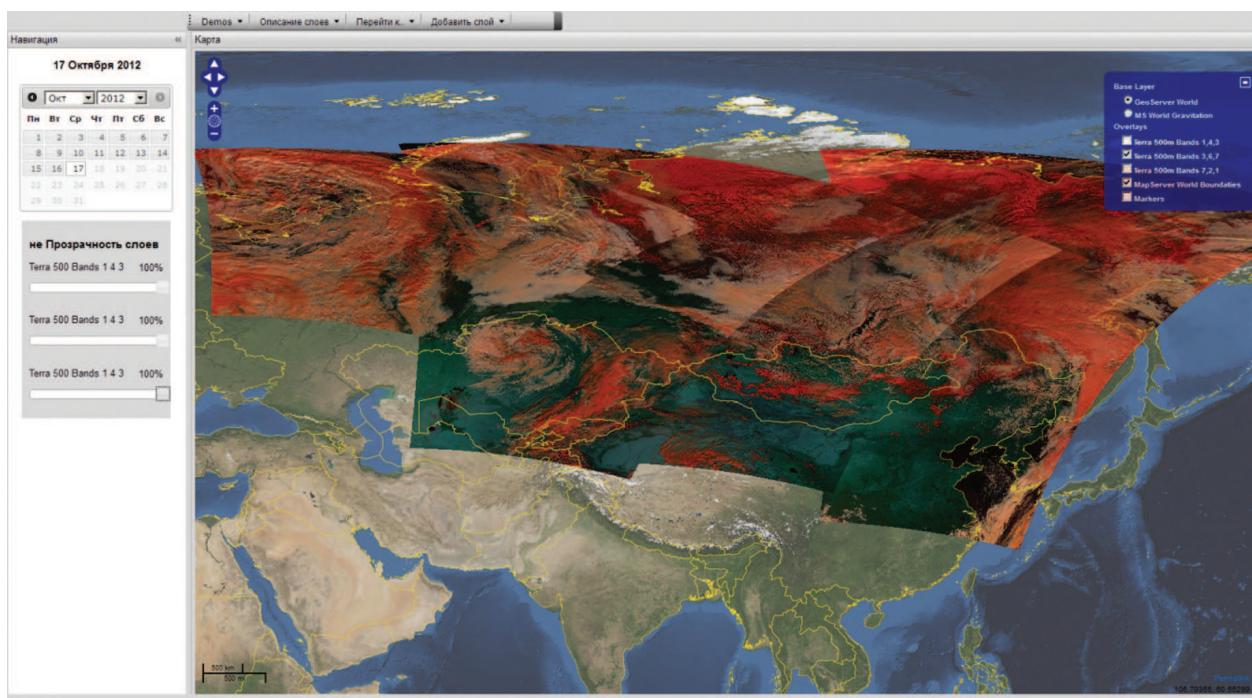


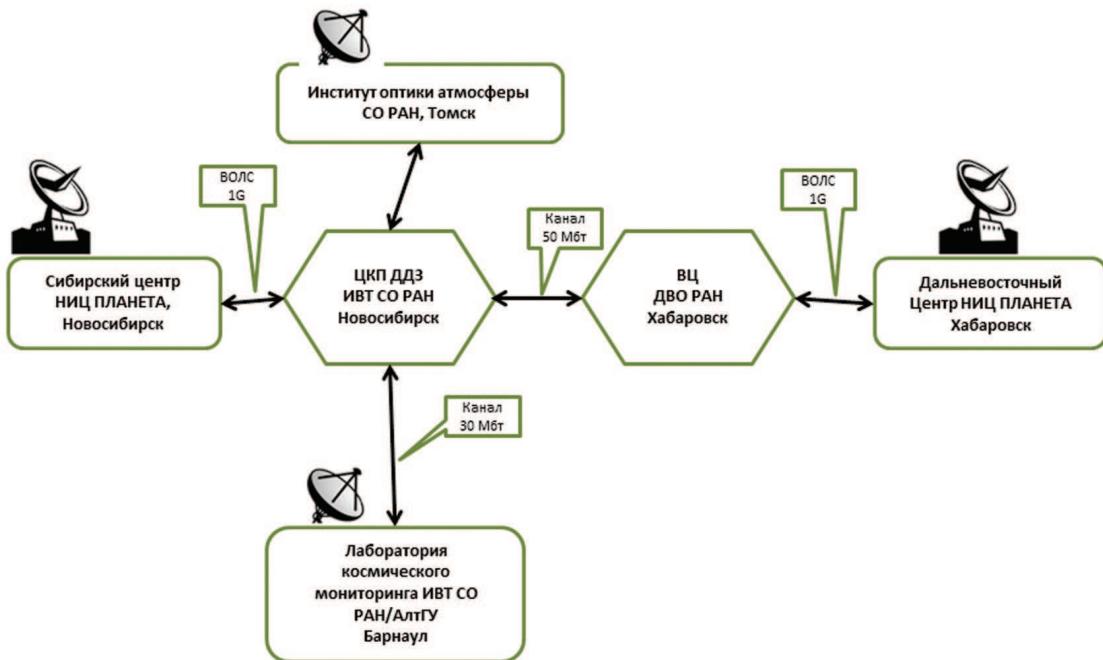
Рис. 4. Интерфейс доступа к каталогу оперативных данных

Функциональность системы постоянно возрастает как за счет расширения списка продуктов обработки данных MODIS, так и за счет подключения к системе новых потоков данных. Так, с сентября 2010 года развернута оперативная обработка данных гиперспектрометра AIRS и сенсора AMSR-E, принимаемых с платформы КА Aqua. В настоящее время развернута обработка данных до уровня L2, на основе которых подготавливается набор тематических продуктов для конечных пользователей. Дальнейшее совершенствование подсистемы обработки данных сенсора MODIS состоит в оперативном получении серии продуктов по многодневным измерениям различных характеристик атмосферы и подстилающей поверхности. К настоящему моменту ежедневно доступны 16-дневные продукты – альbedo (MCD43) и вегетационный индекс (MCD13), а также новые оригинальные продукты.

## Перспективные направления работы

В 2012 году проведены работы по развитию территориально-распределенной сети сбора пространственной информации: начаты совместные с Вычислительным центром

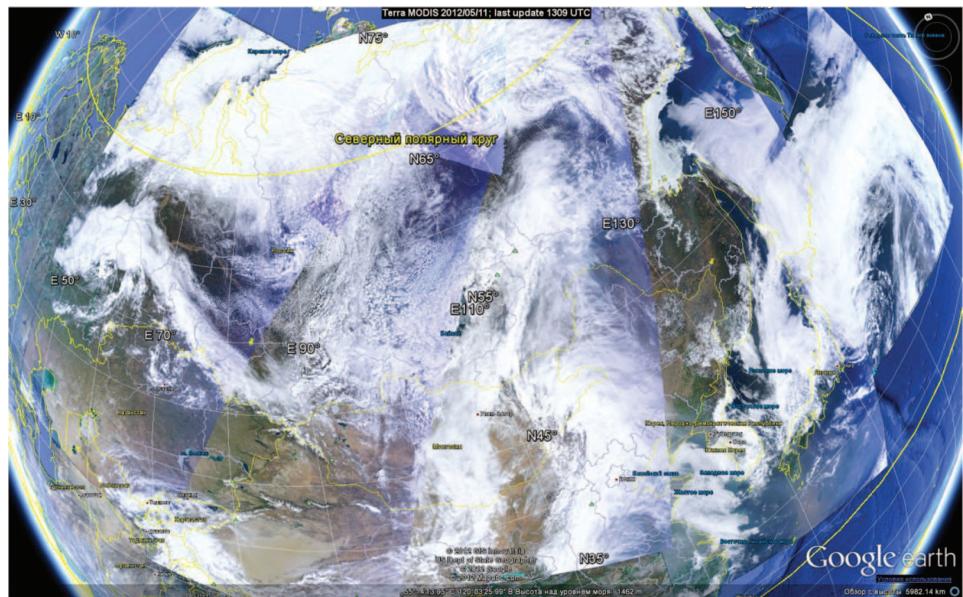
Дальневосточного отделения РАН работы по развитию технологий спутникового мониторинга, результатом чего стал доступ к приемному оборудованию Дальневосточного центра НИЦ ПЛАНЕТА (г. Хабаровск).



*Рис. 5. Схема территориально-распределенной межведомственной сети сбора*

Для телекоммуникационного обеспечения взаимодействия между Сибирским и Дальневосточным отделениями РАН был организован выделенный арендованный канал связи пропускной способностью 40 Мбит/с. Таким образом, в сентябре 2012 г., информационные ресурсы Сибирского (г. Новосибирск) и Дальневосточного (г. Хабаровск) отделений РАН были объединены в единую распределенную сеть доступа к пространственным данным. Таким образом, обеспечивается возможность доступа к Сибирскому и Дальневосточному центрам НИЦ Планета как основным источникам пространственных данных на территории Сибири и Дальнего Востока. Достигнута также договоренность с Институтом оптики атмосферы (ИОА) СО РАН (г. Томск) о включении приемного комплекса ИОА СО РАН в создаваемую информационную инфраструктуру. К настоящему моменту от ИОА СО РАН поступают данные оперативного спутникового мониторинга с новейшей спутниковой платформы SuomiNPP (NASA, USA). Организовано телекоммуникационное взаимодействие с Центром космического мониторинга АГУ пропускной способностью 40 мбит/с. На рис. 5 представлена схема взаимодействия организаций, задействованных в формировании «академической» инфраструктуры распределенной сети источников пространственных данных.

В результате выполненных работ создан действующий прототип территориально-распределенной сети сбора пространственных данных, обеспечивающей прием, архивирование и обработку данных, покрывающих большую часть территории России (Рис. 6).



*Рис. 6. Схема покрытия территории Сибири и Дальнего востока  
(состояние на ноябрь 2012 года)*

Дальнейшее развитие инфраструктуры этой сети видится во взаимодействии с расположеннымными в Европейской части страны организациями Российской академии наук, Росгидромета и других заинтересованных ведомств.

Работа выполняется при поддержке программы фундаментальных исследований СО РАН на 2010 – 2012 гг. (проект IV.31.2.1.), Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 12-07-00545-а, 11-07-12048-офи-м); программы интеграционных фундаментальных исследований Президиума СО РАН (проект № 131); программы Президиума РАН (проект 4.10), Программы поддержки ведущих научных школ (грант НШ – 6293.2012.9).

## Литература

1. Шокин Ю.И., Добрецов Н.Н., Пестунов И.А., Молородов Ю.И., Смирнов В.В., Синявский Ю.Н. // Система сбора, хранения и обработки спутниковых и наземных данных Новосибирского научного центра СО РАН // Выч. тех.– 2008.– Т.13.– Вестн. КазНУ им. аль-Фараби. Серия: Математика, механика, информатика.– №4 (59).– Совместный вып. по материалам междунар. конф. «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании».– Ч.III.– С.371-376.
2. Лагутин А.А., Никулин Ю.А., Жуков А.П., Лагутин А.А., Резников А.Н., Синицын В.В., Шмаков И.А. Математические технологии оперативного регионального спутникового мониторинга характеристик атмосферы и подстилающей поверхности ч. 1. MODIS // Вычислительные технологии. – 2007. – Т. 12. – № 2.
3. Шокин Ю.И., Пестунов И.А., Смирнов В.В. Корпоративная информационная система СО РАН для сбора, хранения и обработки спутниковых и наземных данных // Труды X Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Проблемы мониторинга окружающей среды (ЕМ-2009)». Кемерово, 27-30 октября 2009. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Вып. 2, т. 1 (т. 2).
4. Hull D., Wolfsencroft K., Stevens R. et al. Taverna: a tool for building and running workflows of services // Nucleic Acids Research, vol. 34, 2006.

# **The Development and Status of the Distributed System for Satellite Data Acquisition and Processing for Siberia and the Far East**

**Yu.I. Shokin<sup>1</sup>, V.N. Antonov<sup>2</sup>, N.N. Dobretsov<sup>1</sup>,  
V.A. Kikhtenko<sup>1</sup>, A.A. Lagutin<sup>3</sup>, V.V. Smirnov<sup>1</sup>,  
L.B. Chubarov<sup>1</sup>, D.L. Chubarov<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup> Institute of Computational Technologies SB RAS*

*<sup>2</sup> Scientific Research Center of Space Hydrometeorology «Planeta» (SRC «Planeta»)*

*<sup>3</sup> Altai State University*

This paper describes an important infrastructure project of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. The project is to develop an information system to provide researchers with timely access to Earth sensing data and information products based on it. We discuss techniques for product generation, their catalogization, archiving and storage that employ powerful computing infrastructure of the Siberian Branch. The specific problem considered in the paper is not restricted to remote sensing data but also applies to data coming from other sources that is necessary for Earth systems monitoring. The project builds upon the existing telecommunications basis of the Scientific Data Network of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences that is one of the largest scientific computer networks in Russia.

**Keywords:** TERRA, AQUA, SPOT, remote sensing.