

Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач

Е.А. Лупян¹, В.П. Саворский², Ю.И. Шокин³, А.И. Алексанин⁴, Р.Р. Назиров¹,
И.В. Недолужко⁴, О.Ю. Панова²

¹ *Институт космических исследований РАН,
117997, Москва, Профсоюзная, 84/32
E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru*

² *Фрязинский филиал института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН
141190, Фрязино, пл. Введенского, 1
E-mail: savor@sunclass.ire.rssi.ru*

³ *Институт вычислительных технологий СО РАН,
630090, Новосибирск, проспект Академика М.А. Лаврентьева, 6
E-mail: shokin@ict.nsc.ru*

⁴ *Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,
690041, Владивосток, Радио 5
E-mail: aleks@iacp.dvo.ru*

Статья посвящена обсуждению современных подходов к организации работы с данными наблюдений Земли из космоса при проведении крупномасштабных научных исследований. В ее основу положен анализ действующих в настоящее время систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и технологий работы с ними. Представлены результаты анализа особенностей использования спутниковых данных в научных проектах и обсуждены выявленные при этом проблемы, связанные с быстрым развитием информационных систем (ИС) ДЗЗ. В результате анализа сформулированы основные требования к ИС ДЗЗ, совокупность которых призвана обеспечить возможность интегрированного (коллективного) решения в распределенной сети (инфраструктуре) научных центров и организаций широкого круга задач, в которых исходной экспериментальной информацией являются данные дистанционных наблюдений. В работе представлен обзор имеющихся в настоящее время в России технологий и инфраструктурных решений, которые могут лечь в основу новых информационных систем, обеспечивающих работу с данными ДЗЗ в научных проектах, формулируются также приоритеты развития подобных систем.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, спутниковые данные, информационная система, система дистанционного зондирования Земли, система коллективного пользования, долговременные ряды спутниковых данных, сверхбольшие массивы данных, спутниковые наблюдения.

Введение. Системы дистанционного зондирования Земли – особенности современной ситуации

Использование космических средств наблюдения Земли является одним из наиболее эффективных и действенных методов получения информации о состоянии природных объектов суши, поверхности океана и атмосферы, что подтверждается многолетними успешными работами научно-исследовательских коллективов в области развития и внедрения методов мониторинга и оценки состояния природных объектов по данным спутниковых космических наблюдений. Следствием этого стал значительный прогресс в развитии ме-

тодов и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), играющих значительную роль в информационном обеспечении решения как фундаментальных, так и прикладных задач. Например, по оценкам Всемирной метеорологической организации более 80% объемов информации, используемой в моделях прогноза погоды, получают на основе или с использованием данных спутниковых наблюдений.

Следует отметить, что наиболее значимый прогресс в области развития и применения систем ДЗЗ произошел за последнее десятилетие. Именно в этот период появились и стали активно использоваться системы нового поколения, позволяющие получать не только качественную, но и хорошо калиброванную и пространственно привязанную количественную информацию. Фактически, появление таких систем открыло новую эру спутникового дистанционного зондирования (Stoney, 2005) и позволило приступить к созданию принципиально новых, высоко автоматизированных технологий работы с данными ДЗЗ, обеспечивающих организацию эффективной работы с большими массивами данных, полученными при проведении постоянных спутниковых наблюдений практически в любом регионе нашей планеты. Важно отметить, что эти технологии дают возможность исследовать временную, в том числе и долговременную, динамику различных явлений и процессов.

Фактически новая эра в ДЗЗ началась с запуска в конце девяностых годов приборов MODIS (спутник TERRA, <http://modis.gsfc.nasa.gov>) и SPOT-VGT (спутник Spot, <http://www.vgt.vito.be/>). Именно благодаря этим приборам в практику работы с данными ДЗЗ вошел ряд новых понятий таких, например, как глобальное покрытие, часто обновляемое покрытие, данные высокого уровня обработки и др. Стал возможен легкий и, в основном (!), свободный доступ, как к оперативным, так и к архивным данным. Прибор MODIS, работающий сегодня на космических аппаратах (КА) TERRA и AQUA позволяет ежедневно обновлять данные наблюдений и получать при этом множество продуктов высокой степени обработки. В частности, по данным MODIS в результате глубокой обработки регулярно и достаточно оперативно производится более 40 стандартных продуктов, покрывающих практически весь земной шар. Достаточно высокое качество этих продуктов обеспечило их успешное использование при решении большого числа задач, а практически свободный доступ к этим продуктам сделал возможным их массовое применение как в научных проектах, так и при построении различного рода специализированных систем мониторинга. Во многом благодаря этим двум факторам было создано значительное число технологий, ориентированных на использование данных ДЗЗ, что привело к резкому повышению их востребованности у потребителей.

В это же время, в начале двухтысячных годов активно развивались различные национальные и международные программы, ориентированные на создание КА ДЗЗ. Это привело к значительному увеличению, как числа, так и потенциальных возможностей космических систем. Так, с 1999 по 2009 г. число КА с многоцелевыми сканерами видимого и ИК диапазонов для исследования суши возросло в 1,5 раза (Assefa et al., 2007). А к 2012 году на орбите уже функционировало более 60 КА с аппаратурой, ориентированной на исследования характеристик суши в оптическом диапазоне (<http://database.eohandbook.com/timeline/timeline.aspx>). Всего же на орбите к настоящему времени функционирует более, чем 110 КА ДЗЗ. Основная их часть, 95 спутников, обеспечивают наблюдения в видимом и СВЧ диапазонах. На рисунке 1 представлена диаграмма планируемых сроков работы функционирующих в настоящее время КА ДЗЗ. Следует отметить, что значительный рост численности КА ДЗЗ по данным CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) продолжится и в ближайшее десятилетие.

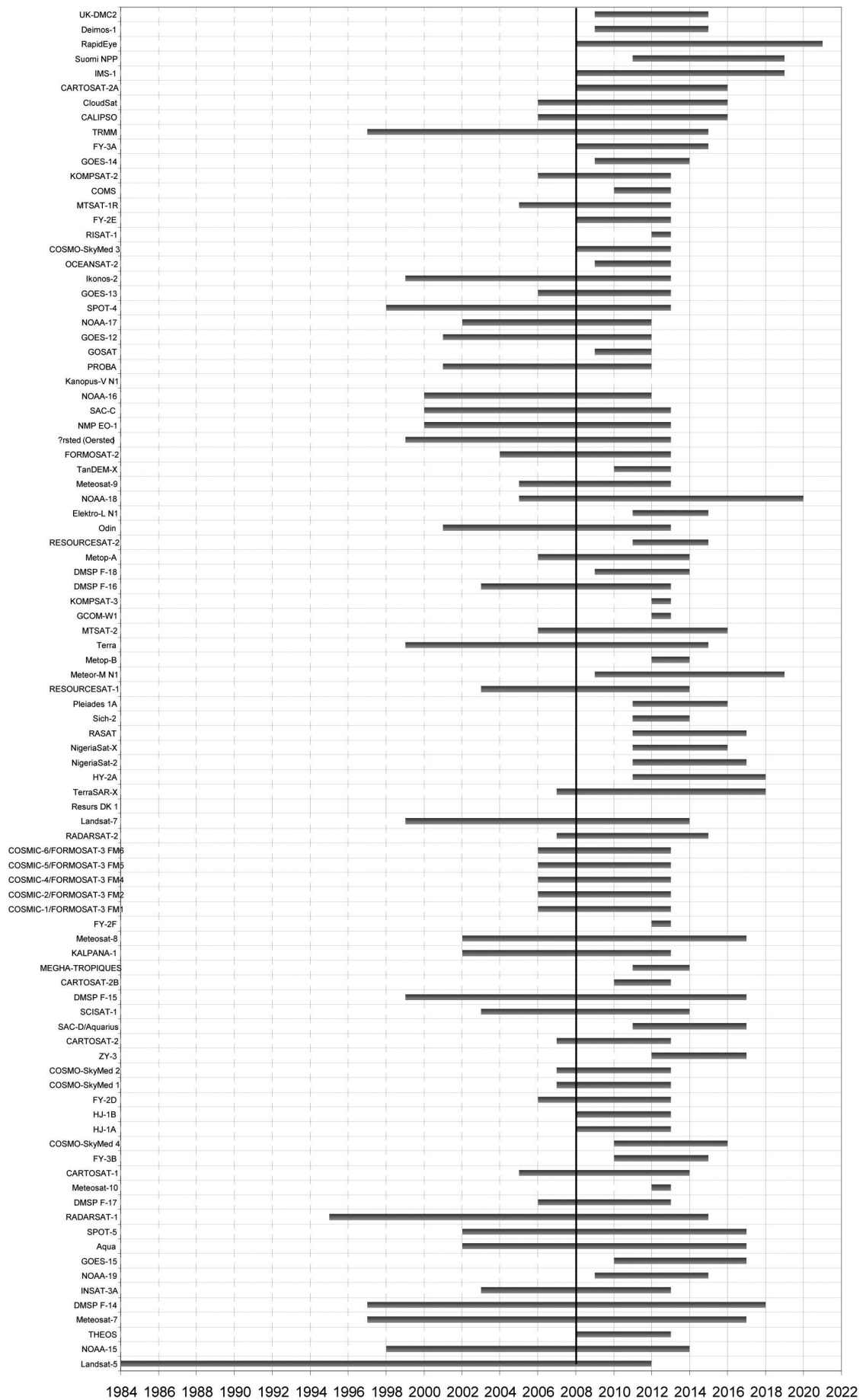


Рис. 1. Планируемые сроки работы размещенных в настоящее время (2012 г.) на орбите спутников ДЗЗ

Наряду с экстенсивным развитием спутниковых систем наблюдения Земли в последнее десятилетие наблюдается и достаточно резкий рост объемов спутниковых данных, получаемых с отдельных КА, а также номенклатуры и суммарных объемов информационных продуктов, формируемых на основе обработки этих данных. Иными словами, скорость роста объемов информации, получаемой по данным ДЗЗ, превышает скорость роста числа систем дистанционного наблюдения. Так, объемы архивов данных ДЗЗ в NASA и NOAA, накапливаемые за год, величились более чем на порядок: от почти 1 Петабайта в 2000 г. до более 10 Петабайт в 2011 г. (Budget et al., 2012, Ramapriyan, 2011). Хотя число спутников наблюдения ДЗЗ увеличилось за это время не более, чем в 6 раз. Указанная динамика роста, в первую очередь, свидетельствует о значительном увеличении информационных потоков, получаемых с отдельных аппаратов.

Вместе с тем по планам NOAA к 2018 году ввод новых данных в систему архивации превысит 20 петабайт в год, а общий накопленный объем архивов спутниковых данных NOAA, который будет доступен для пользователей, превысит 100 Петабайт (см. рисунок 2). Такой резкий рост объемов данных, в частности, обусловлен тем, что в 2011 году был запущен первый метеорологический спутник нового поколения Suomi NPP. С 2017 года NOAA планирует вывод на орбиту новой объединенной метеорологической полярно-орбитальной спутниковой группировки (JPSS). При этом объем данных из расчета на один спутник вырастет в 100 раз. Следует отметить, что аналогичные планы по наращиванию группировки ДЗЗ и быстрому росту объемов информации ДЗЗ приняты к реализации и в России (см. ФКП России на 2006-2015 гг. (Федеральная..., 2005)).

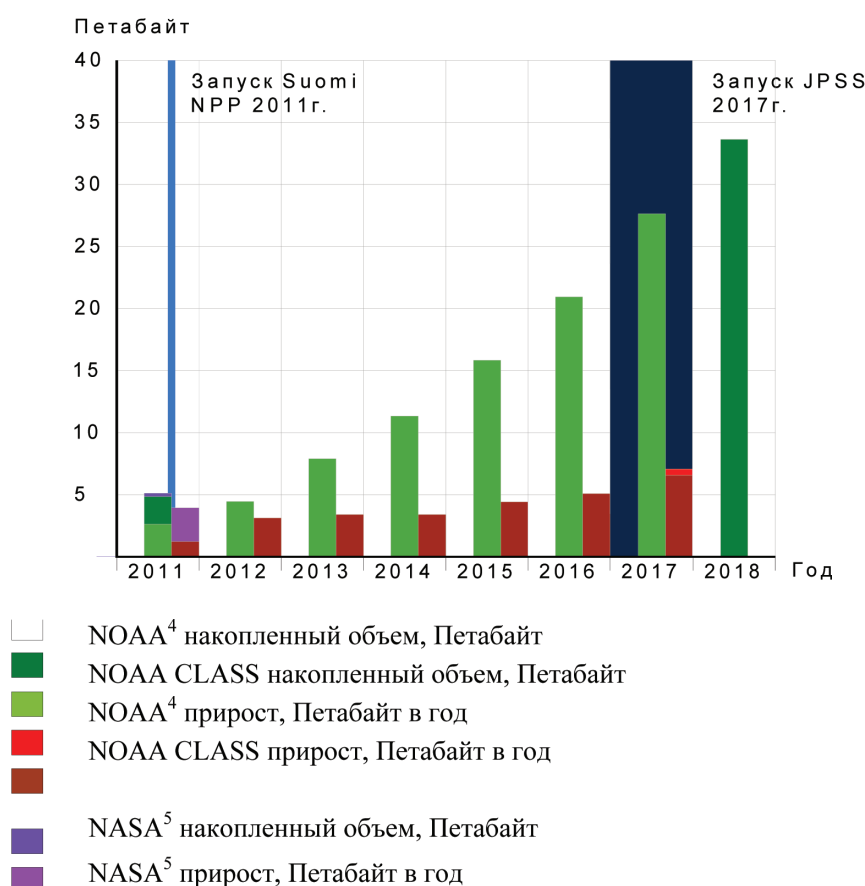


Рис. 2. Накопленные объемы (Петабайт) и годовые приросты (Петабайт в год) данных ДЗЗ NOAA и NASA. Факт за 2011 год (помечен *) и планы на 2012-2018 гг.

Как видно из рисунка 1, большинство функционирующих в настоящее время спутников ДЗЗ имеют достаточно высокую надежность, позволяющую проводить непрерывные измерения в течение более, чем 10 лет, а размещенные на них приборные комплексы ДЗЗ обладают высокими метрическими качествами (точностью, стабильностью, надежностью) на всем протяжении их эксплуатации. Как следствие, мы имеем надежно работающие спутниковые системы, которые позволяют на протяжении больших периодов времени непрерывно получать не только качественную, но и количественную информацию о состоянии различных природных и антропогенных объектов на всей территории Земли. Важно, что при этом обеспечивается однородность условий наблюдений как по пространству, так и по времени.

Следует также обратить внимание на то, что в последнее десятилетие вслед за возможностью открытого бесплатного доступа к данным и продуктам низкого и среднего разрешения стала появляться возможность свободного доступа к спутниковой информации достаточно высокого разрешения. Таблица 1 наглядно демонстрирует постоянный рост возможностей свободного доступа к данным ДЗЗ.

Таблица 1. Расширение возможностей свободного доступа к данным ДЗЗ

Этап (годы)	Возможности доступа к данным
начало 1980-х	Принципиальная возможность свободного доступа к данным низкого разрешения (AVHRR)
начало 1990-х	Реальная техническая возможность свободного доступа к данным низкого разрешения (AVHRR)
1999	Возможность свободного приема данных среднего разрешения (MODIS)
2001	Возможность получения свободного доступа к качественным архивам данных и тематическим продуктам низкого и среднего разрешения (AVHRR, MODIS, SPOT VGT и др.)
2003	Появление в свободном доступе значительных объемов данных высокого разрешения (LANDSAT)
2005	Появление в свободном доступе значительных объемов данных детального разрешения (GOOGLE и др.)
2008	Появление в свободном доступе оперативных данных высокого разрешения (LANDSAT) и расширение возможности доступа к историческим архивам этих данных.
2012	Принятие решения о возможности свободного доступа к данным перспективных систем высокого разрешения (LANDSAT 8, SENTINEL 2)

Доступность спутниковой информации (в том числе возможность получения ее по низкой стоимости или бесплатно) существенно расширила возможности ее использования в научных исследованиях и стала одним из наиболее значимых факторов, повлиявших на развитие систем ДЗЗ в последнее десятилетие. Именно доступность информации привела к практически взрывному росту разработок в рассматриваемой проблемной области и к началу действительно массового использования этих данных для решения различных фундаментальных и прикладных задач.

Можно констатировать, что в настоящее время, фактически, появился общедоступный измерительный инструмент, отвечающий требованиям исследователей различных процессов и объектов нашей Планеты и обладающий, в совокупности, следующими уникальными свойствами:

- **глобальностью** зоны наблюдений, т.е. возможностью увидеть то, что нельзя охватить другими системами наблюдений в течение коротких сроков наблюдений;
- **объективностью** получаемой информации, т.е. независимостью результатов от наблюдателя (пользователя) и условий измерений;
- **высокой повторяемостью**, т.е. возможностью обеспечить сбор рядов данных, необходимых для слежения за динамикой различных процессов;
- **воспроизводимостью**, т.е. возможностью получения доступа различным группам ученых к одному и тому же набору данных для независимых проверок полученных результатов;
- **наличием архивов долговременных** непрерывных наблюдений, в ряде случаев на сроки до 30 лет.

Появление подобного уникального инструмента, естественно, должно было привести к существенным изменениям в технологиях работы с данными ДЗЗ. В настоящий момент они должны строиться с учетом того, что

- произошло существенное увеличение потоков спутниковых данных и объемов соответствующих архивов, рост которых будет нарастать и в ближайшие годы;
- существенно улучшились метрические свойства аппаратуры ДЗЗ, что привело к существенному расширению области использования спутниковых данных;
- существенно улучшились технологии первичной обработки спутниковых данных, что позволило создавать качественные и устойчивые базовые продукты в полностью автоматическом режиме, а это, в свою очередь, привело к развитию новых систем мониторинга различных процессов и явлений;
- появились качественные базовые продукты, пригодные для автоматизированной тематической обработки с целью получения характеристик различных объектов и явлений на больших территориях;
- появилась возможность существенно расширить число исследуемых объектов и явлений за счет использования новой устойчивой качественной информации.

Появление указанных возможностей привело к увеличению числа научных направлений и исследовательских проектов, в которых активно и постоянно используются данные ДЗЗ. Очевидно, что эффективно и полно реализовать эти возможности для быстро увеличивающегося числа потребителей и значительно расширяющейся при этом номенклатуры продуктов ДЗЗ можно только на основе создания новых подходов к организации работы со спутниковыми данными. Обсуждению перспектив разработки и внедрения таких подходов и будут посвящены последующие разделы настоящей работы.

Особенности жизненного цикла работы с данными ДЗЗ, его организация в интересах решения научных задач

Современное развитие методов и средств дистанционного зондирования Земли из космоса, как показано выше, открывает совершенно новые возможности создания эффективной системы изучения и мониторинга различных процессов и явлений окружающей среды. Вместе с тем быстрый рост типов и объемов доступной спутниковой информации привел к тому, что для организации эффективной работы с этой информацией уже недостаточно использовать традиционные подходы. Более того, как показывает опыт создания современных систем работы с данными дистанционного зондирования, требуется внедрение новых методов работы на всех этапах «жизненного цикла» спутниковой информации. Поэтому

в настоящем разделе мы постараемся проанализировать эти этапы и выделить особенности их организации в современных условиях.

Рассмотрим упрощенный «жизненный цикл», который обычно проходит спутниковая информация в различных информационных системах (условная схема такого цикла представлена на рисунке 3), используя результаты достаточно детального анализа «жизненного цикла», проведенного в работе (Лупян, Мазуров и др., 2011). Фактически этот цикл можно разбить на следующие основные элементы:

- получение спутниковых данных;
- архивация данных;
- первичная обработка данных;
- тематическая обработка данных;
- формирование различных информационных продуктов (карт, полей различных параметров, отчетов и т.д.);
- предоставление данных пользователям (исследователям, аналитикам, специалистам, контролирующим те или иные процессы и явления, и т.д.).

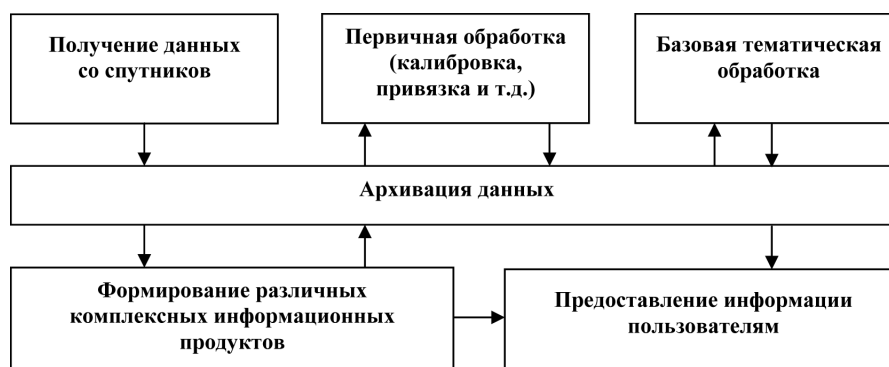


Рис. 3. Характерный «жизненный цикл» спутниковой информации в информационных системах ДЗЗ

Существенной особенностью современных систем работы с данными ДЗЗ является то, что в результате обработки спутниковой информации должны быть не только получены некоторые базовые продукты, используемые для описания исследуемых явлений, но и предоставлены инструменты, позволяющие специалистам, изучающим конкретное природное явление, анализировать представленные продукты в процессе решения своих целевых задач. Зачастую при этом для исследования одного явления необходима информация, получаемая из различных источников и спутниковых систем. Поэтому специалистам, проводящим анализ этого явления, должна быть предоставлена возможность проводить комплексный анализ спутниковой информации. Таким образом, в сегодняшней ситуации не следует ориентироваться на то, что пользователям, использующим информацию, полученную на основе данных ДЗЗ, будет востребован только один тип информации. Напротив, следует ориентироваться на то, что будет востребован некоторый набор информационных продуктов и инструментарий для их анализа.

Естественно, что потребность в разнообразии вносит существенные изменения в функции различных базовых блоков традиционного «жизненного цикла» данных ДЗЗ. Здесь мы лишь кратко остановимся на изменениях, которые кажутся нам наиболее существенными:

1. *Первичная обработка* в настоящее время включает не только операции пространственно-временной привязки и радиометрической калибровки, но и процедуры построения различных композитных продуктов, включающих данные, полученные с различных спутников в различное время.

2. *Базовая тематическая обработка* имеет тенденцию к генерации сертифицированных базовых продуктов (Лупян, Саворский, 2012), на основе которых, в свою очередь, могут создаваться различные специализированные и комплексные тематические продукты.

3. *Система архивации данных* в настоящее время должна обеспечивать хранение не только исходных данных и/или первично обработанную информацию, но и тематические продукты. При этом система архивации должна быть рассчитана на возможность быстрого извлечения данных как для проведения их дальнейшей потоковой обработки, так и для их предоставления в интерфейсы, обеспечивающие интерактивную работу пользователей.

4. *Блок формирования различных информационных продуктов* должен быть рассчитан не просто на подбор продуктов из архивов по запросам пользователей, но и на выполнение дополнительной пост-обработки (он-лайн или заказанной офф-лайн) по запросу пользователей.

5. *Система предоставления информации пользователям* должна обеспечивать не только обслуживание запросов на выбор наборов данных из архивов, но, в идеале, и предоставление инструментов для анализа данных.

Особо следует остановиться на особенностях современных базовых продуктов (БП). Эти особенности достаточно подробно обсуждены, например, в (Лупян, Саворский, 2012). Здесь мы лишь кратко остановимся на основных свойствах, которыми должны обладать БП – они должны быть устойчивыми наборами данных, на основе которых могут быть получены различные характеристики наблюдаемых территорий, явлений и/или объектов. Базовые продукты должны, в частности, позволять:

- следить за долговременной (например, климатической, имеющей масштабы десятилетий) изменчивостью контролируемых объектов;
- строить пространственные распределения (карты) восстанавливаемых по дистанционным данным геофизических параметров в региональном и глобальном масштабах;
- сопоставлять данные, получаемые из различных источников спутниковых наблюдений, что чрезвычайно важно для проведения интеркалибровки наблюдений и, в конце концов, для сведения данных к единой физической шкале;
- осуществлять калибровку научных приборов по внешним источникам, находящимся в условиях, близких к условиям наблюдений;
- проводить валидацию восстановленных по дистанционным наблюдениям геофизических параметров, описывающих физические объекты;
- получение исходной устойчивой информации для моделей развития различных явлений и процессов.

Иными словами, БП должны являться основой для изучения и мониторинга определенного класса явлений и процессов.

Такой «жизненный цикл» в том или ином виде проходят практически все данные ДЗЗ. Однако, следует отметить, что реальная организация всех процессов цикла за время развития систем ДЗЗ неоднократно перестраивалась. И, на наш взгляд, особенно быстро из-

менения происходили в организации работы с данными ДЗЗ в различных научных проектах. Эти перестройки были, в основном, направлены на обеспечение возможности работы с большими объемами информации, в том числе и с долговременными (историческими) архивами. Для того, чтобы повысить эффективность работы с постоянно нарастающими объемами информации, потребовалось оптимизировать схемы работы с данными, в первую очередь, для того, чтобы минимизировать ненужное дублирование как данных, так и процессов обработки. В следующем разделе мы кратко остановимся на эволюции подходов к использованию данных ДЗЗ в различных научных проектах.

Эволюция подходов к работе с данными ДЗЗ

Проследим эволюцию схем использования данных ДЗЗ в научных проектах, выделим и опишем преимущества современных схем работы с данными и определим основные пути их развития. Для того, чтобы понять логику развития систем работы с данными ДЗЗ, мы также рассмотрим этапы развития технологий работы с ними. История создания и развития этих технологий имеет более чем тридцатилетнюю историю и может быть условно разделена на этапы.

Первый этап развития, приходящийся на период с начала 60-х по середину 70-х годов XX века, характеризуется относительно малыми потоками данных ДЗЗ на цифровых носителях. При этом значительная часть данных записывалась и хранилась на фотоносителях. Обработка данных проводилась, в основном, высококвалифицированным персоналом в специализированных центрах. Заказы на продукты поступали в режиме «офф-лайн» (по почте). Продукты обработки распространялись также в режиме «офф-лайн». На этом этапе в научных проектах использовались в основном лишь единичные спутниковые изображения.

Второй этап развития с середины 70-х до середины 90-х годов XX века ознаменовался приходом и постепенным расширением записи данных на цифровые носители. При этом общий объем данных ДЗЗ не превышал нескольких терабайт. К концу периода подавляющее число данных размещалось на цифровых носителях (в основном магнитных). Кроме того, к концу периода начали широко применяться сетевые технологии для передачи относительно небольших объемов данных. Это позволило перейти на процедуры «он-лайн» заказа и поиска данных (в основном, по набору цифровых атрибутов) в крупных центрах ДЗЗ средствами удаленного доступа (в основном по протоколу ftp). Существенным сдерживающим фактором в то время были дороговизна средств хранения и массовой обработки данных, а также отсутствие широкополосных каналов связи. К концу этапа начали формироваться стандарты на форматы и сервисы данных ДЗЗ. На этом этапе использовалась только схема доступа, при которой пользователь (ученый, ведущий исследования) должен был получать наборы информации (сырой или первично обработанной) и полностью строить весь цикл дальнейшей обработки и анализа данных у себя. При этом до первой половины 90-х годов использовались в основном off-line сервисы, что серьезно ограничивало использование данных ДЗЗ в научных проектах. Таким образом, большинство проектов, связанных с использованием данных ДЗЗ, фактически было ориентировано на штучную, в основном, интерактивную обработку данных.

Третий этап начался в первой половине девяностых годов с быстрого развития Интернет-технологий, которые позволили создать первые «он-лайн» сервисы работы с дан-

ными (в основном, заказов). Это дало возможность перейти к уже достаточно массовому получению и использованию данных в научных проектах. Существенными особенностями этапа являются:

- значительное увеличение объема и номенклатуры продуктов ДЗЗ (уже к 2000 г. общемировые архивы оценивались в 300-500 Тбайт), при этом, однако, пользователи предпочитали использовать продукты низкой степени обработки;
- появление возможности перехода на полностью «он-лайновые» технологии поиска и заказа данных (включая и поддержку доступа к графическим информационным ресурсам);
- начало обмена отдельными наборами данных с помощью телекоммуникационных сетей (в первую очередь Интернет).

Значительную роль в развитии технологий работы с данными ДЗЗ на этом этапе сыграла принятая в 1994 году долговременная программа NASA EOS по исследованию глобальной изменчивости природных ресурсов (EOS Science..., 1999). В значительной мере под ее влиянием к середине 90-х годов XX века сложились основные подходы к организации систем доступа к данным ДЗЗ, в частности, подходы к ведению объединенных каталогов, позволяющих пользователям получать через единую точку входа информацию о данных, хранящихся в разных архивах. Тогда же было начато создание крупнейших глобальных информационных систем, предоставлявших доступ к каталогам спутников данных. В частности, была создана распределенная система NASA EOSDIS (Earth Observing System Data Information System) NASA (Esfandiari et al, 2003), реализована группа проектов ESA (Европейское космическое агентство), развивавшихся на основе системы eoPortal (Coene et al, 2003, Coene et al, 2007).



Рис. 4. «Традиционная» схема работы с данными в научных проектах

Появившаяся возможность получения значительного объема информации, породила «традиционную» схему работы с данными ДЗЗ, используемую во многих научных проектах

и до настоящего времени (см. рисунок 4). Особенностью этой схемы является то, что фактически в каждом более или менее крупном проекте, использующем данные ДЗЗ, создается собственная схема работы с данными, реализующая все элементы их жизненного цикла. При этом создаются собственные системы архивации данных, обработки и анализа данных и представления данных локальным и удаленным пользователям. Следует отметить, что на создание таких компонент в рамках каждого проекта уходит много сил и средств. Однако, следует признать, что и сегодня подобная схема работы с данными ДЗЗ продолжает активно использоваться. Из недостатков обсуждаемой схемы следует отметить использование данных очень низкого уровня обработки (чаще всего уровня L0) в качестве входных. Это приводит к тому, что:

- каждый проект фактически вынужден осуществлять полный цикл бьемных и затратных этапов обработки;
- во многих случаях базовая (предварительная) обработка данных даже в близких по области исследования проектах осуществляется независимо. Создаваемые и используемые в проектах методы тематической обработки данных ориентированы на особенности работы с данными конкретного проекта, что затрудняет в дальнейшем их широкое применение и перенос из проекта в проект.

Анализируя схему работы с данными в рамках «традиционного» подхода, мы также видим, что при ее использовании в научном проекте практически полностью дублируются многие функции стандартной, практически потоковой обработки данных, реализованные в центрах приема и архивации информации. В то время как эти центры ориентированы на обслуживание широкого круга потребителей.

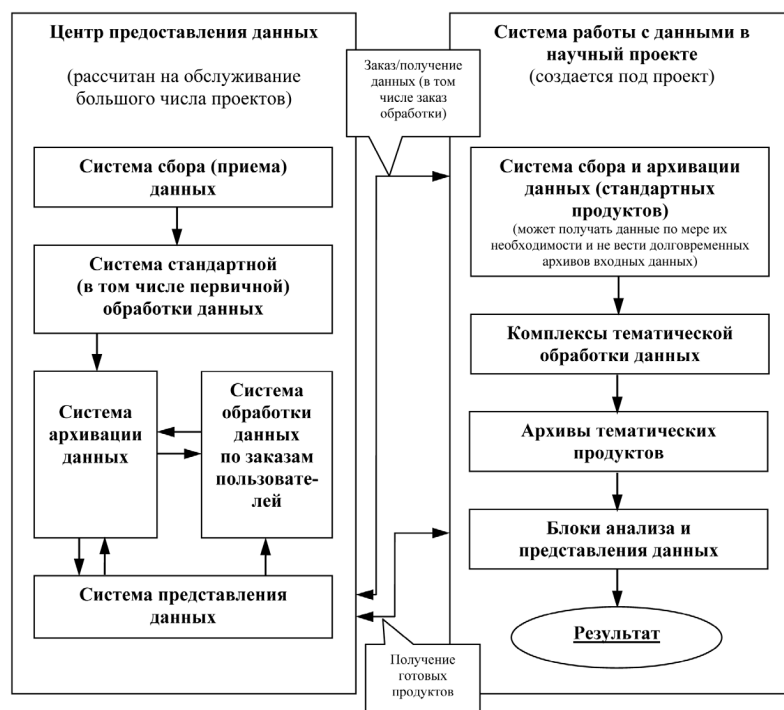


Рис. 5. «Современная» схема работы с данными в научных проектах, преобладающая с 2005 г.

Естественно, что при росте объемов доступных данных, традиционная схема становится малоэффективной, т.к. во многих случаях финансовые, технические и трудовые ре-

суды, необходимые для обеспечения ее поддержки, становятся настолько значительными, что их уже не могут себе позволить даже крупные проекты. В то же время повышение качества продуктов, получаемых в результате стандартной потоковой обработки спутниковой информации в многофункциональных центрах приема и архивации данных, позволило начать переход на работу со стандартными продуктами достаточно высокого уровня обработки. Это фактически позволяет научным проектам сосредоточиться на этапах именно тематической обработки данных, избегая этапов стандартной первичной обработки. Важно, что при этом в интересах проектов создаются уже только специализированные комплексы обработки и анализа данных для решения специфических задач проекта. Принципиальная схема такого подхода к работе с данными ДЗЗ (назовем его «современный») представлена на рисунке 5. «Современная» схема стала активно использоваться с начала 2000-х годов. К 2005 году на нее перешло значительное число проектов. Именно этот период, видимо, следует считать началом следующего четвертого этапа развития технологий работы с данными ДЗЗ в научных проектах.

Следует отметить, что одной из существенных особенностей этого этапа является массовое использование научными проектами возможностей, предоставляемых быстрыми каналами связи и технологиями глобальных компьютерных сетей. Таким образом обеспечивается быстрое развитие технологий доступа к различным информационным ресурсам, в частности,

- получение различными научными проектами значительных по объему и составу наборов данных из многофункциональных центров приема и архивации;
- создание и использование технологии распределенной обработки данных, в том числе – обработки с использованием мощностей приемных центров;
- создание специализированных информационных ресурсов проектов, обеспечивающих удаленный доступ к информации, получаемой в проекте, что, в свою очередь, позволяет работать с результатами, полученными в проекте (в том числе и с информацией, полученной на основе данных ДЗЗ), широкому кругу специалистов.

Развитие технологий удаленной работы с данными позволяет в настоящее время организовывать весьма сложные сервисы представления данных, а также интерфейсы, обеспечивающие работу с ними. При этом быстро развиваются и внедряются различные стандарты работы с данными (в том числе и с пространственными, наиболее интересными в областях применения систем ДЗЗ). Это открывает пути к интеграции различных систем, предоставляющих данные ДЗЗ или информационные продукты, получаемые на их основе. Следует отметить, что работы, связанные с организацией эффективного поиска и выбора разнородной информации о конкретном объекте (например, полученной от различных систем наблюдения), ведутся достаточно давно. В основном они направлены на создание технологий интеграции каталогов различных архивов, для обеспечения быстрого поиска данных. Пожалуй, одной из наиболее крупных систем такого рода является система EOSDIS (Ramapriyan, 2011, Esfandiari, 2007).

В то же время стали создаваться не только системы, обеспечивающие поиск и выбор данных, но и различные сервисы, поддерживающие работу с данными (от простого просмотра данных в полном пространственном разрешении до «он-лайн» обработки, или проведения сложной обработки по заказам пользователей). К системам, которые ориентированы на предоставление сервисов по обработке данных можно, например, отнести, систему ECHO (Earth Observing System ClearingHouse), (<http://earthdata.nasa.gov/echo>), которая базируется

ся на EOSDIS и является платформой, на которой совместно работают системы поставки данных наблюдения Земли и обеспечивающие их сервисы. Современным этапом развития Европейской распределенной инфраструктуры доступа к спутниковой информации является среда SSE (Service Support Environment), (<http://services.eoportal.org>) и основанный на ней проект HMA (Heterogeneous Mission Accessibility), (<http://earth.esa.int/hma>), обладающие аналогичными функциональностями.

Все это открывает новые перспективы для работы с данными ДЗЗ в научных исследованиях. Так, активно развивающиеся в последние годы сервисы, уже сегодня позволяют не только производить простую выборку данных из архивов, но также обрабатывать их с использованием инструментов и средств поставщика данных, в том числе, на мощностях самих центров ДЗЗ. В рамках различных научных проектов созданы и поддерживаются долговременные архивы, содержащие уже «физическую» содержательную информацию о различных объектах и явлениях, а также специализированные сервисы, которые обеспечивают работу с такой информацией. При этом стало возможным создание специализированных инструментов, ориентированных на решение конкретных задач, которые позволяют интегрировать информацию из различных источников (центров приема, специализированных долговременных архивов, архивов различных научных проектов и т.д.) именно на уровне интерфейсов, используя в достаточной мере стандартизированные сервисы доступа к данным.

Специалисты, ведущие конкретные исследования, получают в этом случае не только возможность поиска и выбора необходимой информации, но и специализированные инструменты для ее анализа. При этом в рамках конкретного проекта может даже не потребоваться создание специализированных вычислительных ресурсов, так как работа сможет производиться с использованием уже имеющихся ресурсов центров архивации и представления данных.



Рис.6. «Перспективная» схема работы с данными в научных проектах

Все это позволит создавать и использовать принципиально новую «перспективную» схему работы с данными дистанционного зондирования, представленную на рис. 6. Следует отметить, что указанные выше тенденции пока находятся на начальной стадии развития, но,

в то же время, очевидно, что развитие и использование подобных подходов может в ближайшие годы принципиально расширить использование спутниковых данных в научных исследованиях. Особо следует остановиться на том, что рассмотренный подход сможет дополнительно обеспечить:

- эффективную работу с разнородной информацией (в том числе и прошедшей различные уровни обработки и хранящейся в различных центрах);
- эффективное использование высокопроизводительных вычислительных ресурсов коллективного пользования для обработки быстрорастущих объемов данных;
- вовлечение в дальнейшие исследования информационных ресурсов, уже созданных в отдельных проектах;
- минимизацию затрат на организацию специализированных вычислительных и программных комплексов в интересах отдельных проектов.

Все это, на наш взгляд, позволит существенно повысить эффективность научных исследований окружающей среды, различных природных объектов, а также изменений, происходящих на нашей планете.

Современное состояние российских систем и технологий использования данных ДЗЗ в научных исследованиях

В России в последние годы очень активно ведутся работы, связанные с использованием данных и технологий ДЗЗ для решения различных, в первую очередь научных, задач. Ярким подтверждением этому является, в частности, быстрый рост числа работ, ежегодно представляемых на конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли» (Лаврова, Лупян, 2012). Так, за последние 10 лет число докладов на конференции увеличилось более, чем в 5 раз. Этот факт заслуживает серьезного внимания, поскольку конференция является самой крупной ежегодной конференцией в России, посвященной вопросам разработки технологий и методов ДЗЗ, а также использованию их в научных исследованиях.

Рост числа публикаций отражает рост числа исследователей, вовлеченных в решение проблем, связанных с развитием систем и технологий работы с данными ДЗЗ в России. Это подтверждает высокую актуальность рассматриваемых проблем. На решение связанных с ними задач в последние годы были направлены такие проекты РАН, как

- целевая программа Дальневосточного отделения РАН «Спутниковый мониторинг Дальнего Востока для проведения фундаментальных научных исследований Дальневосточного отделения РАН» (головной исполнитель ИАПУ ДВО РАН);
- интеграционный междисциплинарный проект СО РАН «Распределенная система сбора, хранения, обработки и доступа к данным дистанционного зондирования Земли для мониторинга социально-экономических процессов и состояния природной среды регионов Сибири и Дальнего Востока» (головной исполнитель ИВТ СО РАН);
- программа «Мониторинг» «Разработка методов и технологий спутникового мониторинга для научных исследований глобальных изменений и обеспечения безопасности» (головной исполнитель ИКИ РАН);
- работы, выполняемые в рамках проектов РАН и Роскосмоса, по созданию Единой информационной системы фундаментальных космических исследований (ЕИС ФКИ) (головной исполнитель ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН).

Развитие информационных технологий в поддержку средств ДЗЗ составило основу проектов Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнаука) и Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ):

- проект РФФИ (11-07-12028-офи-м-2011) «Распределенная инфраструктура коллективного пользования, обеспечивающая интеграцию информационных систем при решении задач хранения, поиска, обработки и анализа данных ДЗЗ»;

- проект РФФИ (11-07-12026-офи-м-2011) «Создание распределенной информационной системы коллективного использования данных космического дистанционного зондирования Земли для проведения научной, образовательной и инновационной деятельности в области исследования и контроля состояния окружающей среды в регионах Дальнего Востока России»;

- проект РФФИ (11-07-12025-офи-м-2011) «Распределенный информационный ресурс коллективного пользования для комплексного анализа данных космического дистанционного зондирования в интересах исследования Мирового океана»;

- проект РФФИ (11-07-12048-офи-м-2011) «Фундаментальные проблемы создания распределенной инфраструктуры коллективного использования данных космического дистанционного зондирования Земли на примере систем оперативного спутникового мониторинга»

- проект РФФИ (12-07-00545/12-а) «Разработка алгоритмов и систем для решения задач хранения и обработки сверхбольших наборов научных данных и сбора потоков данных в реальном времени на примере систем оперативного спутникового мониторинга»

- проект Минобрнауки (№ 07.514.11.4037) «Разработка алгоритмов и программных систем для решения задач сбора, хранения и обработки сверхбольших наборов данных дистанционного зондирования для решения научных задач в области науки о Земле и глобального изменения климата».

Достаточно активно в последнее десятилетие создавались и развивались центры коллективного пользования (ЦКП), обеспечивающие работу с данными дистанционного зондирования. Как примеры таких центров можно привести:

- Информационная система спутниковых данных СО РАН (ИВТ СО РАН, Новосибирск) <http://sdc.esemc.nsc.ru>, (Шокин, Добрецов и др., 2008, Лагутин и др., 2007, Шокин и др., 2009, Шокин и др., 2012);

- ЦКП регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН (ИАПУ ДВО РАН, Владивосток) <http://www.satellite.dvo.ru>, (Левин и др., 2008);

- ЦКП «Космическая информатика» (ИСОИ РАН, СКАУ «Самараинформспутник», Самара) <http://www.ipsi.smr.ru/Lab/СКРО/Geoinf/Geoinf.htm> (Глумов и др., 2010);

- ЦКП системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (ИКИ РАН, Москва) <http://smis.iki.rssi.ru> (Лупян, Мазуров и др., 2011, Лупян, Балашов и др., 2012, Лупян и др., 2004);

- Центр обработки и хранения космической информации ИРЭ РАН (ЦОХКИ ИРЭ РАН) для поддержки комплексных научно-исследовательских работ по развитию средств ДЗЗ (<http://ire.rssi.ru/cpssi>) (Саворский и др., 2011);

- Распределенная информационная системы коллективного использования данных космического дистанционного зондирования Земли для проведения научной, образовательной и инновационной деятельности в области исследования и контроля состояния окру-

жающей среды в регионах Дальнего Востока России (в стадии создания) (ВЦ ДВО РАН) (Лупян, Сорокин и др., 2011).

В настоящее время в различных научных центрах накоплены значительные архивы спутниковых данных и результатов их обработки по различным регионам мира. Особо следует отметить то, что данные архивы позволяют работать не только с отдельными сценами, но и с рядами данных, период накопления которых уже превысил несколько десятков лет. Так, например, в центре коллективного пользования в ИКИ РАН имеется однородный архив данных, полученных со спутников серии LANDSAT по территории России и пограничных стран, в котором ряды данных начинаются с 1990 года (Лупян, Балашов и др., 2012). В российских научных центрах имеются архивы данных, полученных с таких спутников, как, например, NOAA, AQUA, TERRA, FY-1D, MTSAT-1R, METEOP-M №1, FY-2B, FY-2C, GMS-5, SPOT 2/4, Монитор-Э, RADARSAT-1, IRS-P6, IRS-P5, EROS A, B, RADARSAT-2 и др. Общая емкость архивов упомянутых выше центров даже по самым скромным оценкам на середину 2012 года превышает 0,6 Петабайт.

Безусловно, одним из наиболее важных вопросов является организация поступления спутниковых данных в центры коллективного пользования. Для решения этого вопроса могут быть использованы разные схемы. Традиционным решением является организация собственных центров приема спутниковых данных. Так, например, сегодня достаточно мощными системами приема спутниковых данных обладают Центр коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН (ИАПУ ДВО РАН, Владивосток) и Центр коллективного пользования «Космическая информатика» (ИСОИ РАН, СКАУ «Самараинформспутник», Самара). В то же время, в связи с быстрым развитием спутниковых систем наблюдения все чаще в научных центрах используется схема получения информации из специализированных центров приема и обработки спутниковых данных. Следует отметить, что этому в России в значительной степени способствует активно развиваемая в рамках проектов Российского космического агентства Единая территориально распределенная информационная система дистанционного зондирования Земли (ЕТРИС ДЗЗ) (Носенко, Лошкарев, 2010, Носенко, Новиков и др., 2010). Многие центры, создающиеся для решения научных задач, ориентированы сегодня на использование именно этой инфраструктуры для приема и первичной обработки данных. Такое решение позволяет существенно сократить расходы на покупку и обслуживание дорогостоящих систем приема и обработки спутниковой информации. Поэтому в настоящее время активно поддерживаются интеграционные проекты, ориентированные на объединение ресурсов научных центров и центров, входящих в состав ЕТРИС ДЗЗ, прежде всего центров НИЦ «Планета» Росгидромета (Москва, Хабаровск, Новосибирск) (Асмус, 2008, Дядюченко и др., 2010, Бурцева, Абросимов, 2009). Это в перспективе может позволить эффективно использовать развивающуюся федеральную российскую инфраструктуру приема и обработки данных ДЗЗ для обеспечения информацией различных научно-исследовательских проектов.

В последнее десятилетие в России также активно создаются и внедряются технологии, необходимые для создания инфраструктуры для работы с данными и продуктами ДЗЗ. Эти технологии и решения могут стать основой для развития современных систем работы с информацией, полученной на основе дистанционных наблюдений для решения различных научных задач. Особенно активно работы по созданию таких технологий ведутся в различных организациях РАН, Роскосмоса и Росгидромета по следующим направлениям:

- разработка стандартов, обеспечивающих построение крупных, гетерогенных, территориально распределенных систем работы с данными ДЗЗ;
- разработка методов ведения сверхбольших архивов и каталогов данных ДЗЗ и результатов их обработки (продуктов ДЗЗ);
- разработка технологий, обеспечивающих возможность распределенной обработки данных ДЗЗ;
- разработка технологий, позволяющих создавать инструменты для обработки и анализа данных ДЗЗ распределенными коллективами научных исследователей в режиме коллективного доступа к виртуально интегрированным ресурсам.

Стандарты, ориентированные на организацию распределенных архивов данных ДЗЗ в интересах фундаментальных исследований, активно разрабатываются в ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. В основном, эти работы проводятся в рамках проектов по созданию ЕИС ФКИ в части, связанной с работой с информационными ресурсами, посвященными дистанционным наблюдениям Земли (Саворский и др., 2011). Значительное внимание разработке стандартов уделяется также в работах по созданию и развертыванию ЕТРИС ДЗЗ (Носенко, Лошкарев, 2010, Носенко, Новиков, 2010).

К настоящему времени созданы и внедрены технологии, обеспечивающие работу с каталогами больших распределенных архивов данных ДЗЗ. На их основе созданы и введены в эксплуатацию системы, позволяющие работать как с каталогами архивов данных ДЗЗ, так и с результатами их обработки. В этом направлении следует, безусловно, отметить решения, которые уже сегодня обеспечили возможность удаленного доступа пользователей как к каталогам данных крупных центров приема, так и к различным информационным продуктам, формируемым в центрах входящих в состав ЕТРИС ДЗЗ:

- Объединенная система работы с архивами данных НИЦ «Планета», которая позволяет оперативно получать доступ к информации Европейского, Сибирского и Дальневосточного центров (Саворский и др., 2011) ;
- Геопортал Роскосмоса (Носенко, Лошкарев, 2010, Носенко и др., 2010), обеспечивающий возможность получения информации из различных российских специализированных архивов; Геопортал позволяет оперировать с информацией, поступающей из различных систем, в том числе из центров, входящих в состав ЕТРИС ДЗЗ, и из различных научных и коммерческих систем;
- Генеральный каталог Научного центра Оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) (Бурцев, 2010), который обеспечивает возможность работы с данными различных спутниковых систем, которые принимаются в центре, а также с базовыми продуктами (Лупян, Саворский, 2012), сформированными в результате их обработки.

Активно ведутся работы по созданию центров коллективного пользования, ориентированных на решение различных научных задач. Большое внимание к этим работам уделяется в Сибирском отделении РАН (СО РАН). В ИВТ СО РАН создан Центр коллективного пользования данными дистанционного зондирования Земли СО РАН (ЦКП ДДЗ СО РАН). Центр разрабатывает технологии хранения и обработки сверхбольших объемов данных спутниковой и другой пространственной информации и осуществляет эксплуатацию построенных с использованием этих технологий информационных систем. Основные усилия специалистов центра направлены на обеспечение эффективного доступа к архивам спутниковой информации и на обработку данных в режимах, приближенных к реальному времени. В ЦКП ДЗЗ СО РАН создана Информационная система спутниковых данных

(ИССД СО РАН), в 2011-2012 годах развернут вычислительно-телекоммуникационный комплекс ГЕОСФЕРА. Использование системы потоковых вычислений в совокупности с современными решениями в области хранения данных и обеспечения высокоэффективного доступа к ним позволяет реализовывать практически любые схемы обработки данных, обеспечивая при этом высокие временные характеристики. Применяемые в ходе создания комплекса методы и подходы обеспечивают хорошую масштабируемость системы на вычислительных устройствах кластерного типа. Особое внимание в ЦКП ДДЗ СО РАН уделяется развитию специализированной телекоммуникационной инфраструктуры для взаимодействия и обмена данными между организациями, работающими с пространственной информацией. С 2007 года в СО РАН работает специализированная сеть GisNET, а в 2012 году совместно с Вычислительным центром ДВО РАН проведены работы по ее расширению. В настоящее время в сеть включены не только приемные комплексы Сибирского центра НИЦ «ПЛАНЕТА» (г. Новосибирск), но и приемные комплексы аналогичного Дальневосточного центра (г. Хабаровск), Института оптики атмосферы СО РАН (г. Томск) и лаборатории космического мониторинга ИВТ СО РАН в Алтайском государственном университете (г. Барнаул). Таким образом, Сибирский сегмент научно-образовательной специализированной GisNET объединяет ресурсы ИВТ СО РАН, ИОА СО РАН, ВЦ ДВО РАН и АлтГУ.

Особо следует отметить, что уже сегодня практически все крупные системы, ориентированные на организацию доступа к архивам спутниковых данных, либо уже имеют возможности «он-лайн» обмена информацией, либо имеют технические возможности для такой интеграции.

Значительное внимание в последние годы уделяется также вопросам, связанным с обеспечением оперативного доступа не только к каталогам данных, но и непосредственно к полной информации, хранящейся в архивах. Для реализации таких возможностей необходима разработка специальных технологий ведения сверхбольших архивов спутниковых данных и результатов их обработки, ориентированных на быструю выборку фрагментов информации, запрашиваемой пользователями, а также осуществление оперативной пост-обработки нужных продуктов на основе некоторого набора базовых продуктов (Лупян, Саворский, 2012). Работы в этом направлении, в частности, активно ведутся в ИКИ РАН (Ефремов и др., 2007, Балашов и др., 2008) и уже сегодня позволяют создать информационные ресурсы, позволяющие оперировать многолетними рядами данных. Примером такого ресурса является спутниковый сервис ВЕГА (Лупян, Савин и др., 2011), ориентированный на решение задач дистанционного мониторинга растительности и исследования динамики различных экосистем.

Отметим также то, что в настоящее время актуальными являются задачи сокращения объемов хранения и оптимизации ведения сверхбольших архивов спутниковых данных. Один из развиваемых в данной области подходов ориентирован на то, чтобы организовать хранение только исходной «сырой» информации, но при этом создавать технологии, которые позволили бы оперативно формировать нужные продукты по запросам пользователей. В центре ИАПУ ДВО РАН внедрен подобный подход (Левин и др., 2008), сформулированный в 2007 году рабочей группой по долговременному хранению данных (LTDP, Long Term Data Preservation Working Group), включающей представителей космических агентств ASI (Италия), CNES (Франция), CSA (Канада), DLR (Германия) и ESA [LTDP]. Выработанные этой группой директивы по ведению долговременных архивов (European

LTDP Common Guidelines) (Albani et al.) основаны на применении модели OAIS (Open Archival Information System) (Open archival..., 2003) с рядом дополнений. В частности, делается акцент на нецелесообразность хранения в архиве конечных продуктов обработки данных ДЗЗ. Специфика данных ДЗЗ зачастую требует хранения данных наиболее низкого уровня обработки (вплоть до “сырых”). Это связано с непрерывным совершенствованием технологий обработки такого рода данных, начиная с коррекции географической привязки и заканчивая получением конкретной тематической продукции. Востребованные тематические продукты хранятся только несколько месяцев в оперативном архиве. И только единичные тематические продукты требуются для массовой ретро-обработки при решении конкретных научно-исследовательских задач, что подразумевает ведение соответствующих многолетних архивов.

Активно ведутся работы по внедрению технологий, обеспечивающих возможность проведения обработки данных ДЗЗ на распределенных вычислительных ресурсах под задачи конкретных научных проектов. Такие работы, в частности, ведутся в ЦКП регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН (ИАПУ ДВО РАН) (Левин и др., 2008) В настоящий момент в ЦКП развёртываются и адаптируются программные средства, обеспечивающие доступ к распределённой системе обработки с использованием общепринятых стандартов таких, как сервис удалённого вызова обработки OGC WPS (Web Processing Service) (<http://www.opengeospatial.org/standards/wps>) и сервис заказа спутниковых данных OGC 06-141 (<http://www.opengeospatial.org/standards/oseo>), разработанный Европейским космическим агентством. Анализ показал применимость обоих стандартов для организации доступа к распределённой системе обработки, входящей в состав ЦКП. OGC WPS является технологией более низкого уровня, т. к. оперирует непосредственно с удалённым вызовом процедур. OGC 06-141, в свою очередь, ориентирован на работу с пользователями. Оба стандарта дают возможность строгой формализации наборов входных параметров (DescribeProcess в WPS и GetOptions в 06-141), в связи с чем было принято решение об организации сервиса заказа в виде надстройки над сервисом обработки. Такой подход минимизирует трудозатраты на создание и поддержку сервиса заказа, а также позволяет подключать к системе заказа сервисы обработки других поставщиков.

Особое внимание в последние годы уделяется созданию технологий, которые должны обеспечить возможность быстрой разработки инструментов для проведения анализа данных ДЗЗ распределенными коллективами специалистов. При этом такие инструменты должны создаваться для решения задач конкретного проекта (как это отмечалось при рассмотрении современных схем работы с данными ДЗЗ). Они должны достаточно легко адаптироваться к работе с тем набором информации, который необходим в конкретном проекте, и позволять не только осуществлять поиск и выборку спутниковых данных и результатов их обработки, но и выполнять их анализ в интересах проекта. Одним из примеров технологии создания таких интерфейсов является технология GEOSMIS, разработанная в ИКИ РАН (Толпин и др., 2011). Технология GEOSMIS создана на основе многолетнего опыта работ по созданию и внедрению различных web-интерфейсов, обеспечивающих работу со спутниковыми данными и результатами их обработки в научных и прикладных проектах (Андреев и др., 2004). Отметим, что на основе GEOSMIS уже сегодня созданы и развиваются специализированные системы работы с данными в интересах различных научных проектов, например:

- спутниковый сервис ВЕГА (Лупян, Савин и др., 2011), ориентированный на решение задач мониторинга и изучения растительного покрова;
- спутниковый сервис See The Sea (Лупян, Матвеев и др., 2012), ориентированный на решение задач дистанционного мониторинга и исследования морской поверхности;
- создаваемый в настоящее время спутниковый сервис Вулканы, ориентированный на мониторинг и изучение вулканов Камчатки (Ефремов, Лупян и др., 2012).

Таким образом, мы видим, что в России имеется как базовая инфраструктура, так и необходимые технологические решения для перехода к современным схемам работы с данными дистанционного зондирования и результатами их обработки в интересах решения широкого круга научных задач.

Заключение

В ближайшие годы, как хорошо видно из планов развития спутниковых систем ДЗЗ, возможности таких систем наблюдения будут постоянно расширяться с одновременным развитием средств доступа к информационным ресурсам ДЗЗ. Использование этих информационных ресурсов откроет новые перспективы в изучении, контроле и построении прогнозов динамики различных явлений, наблюдаемых на нашей планете. В то же время для эффективной работы с ресурсами ДЗЗ, безусловно, необходимо внедрение новых подходов в работе с ними, в том числе и обсуждаемых в настоящей работе. На наш взгляд, одним из основных преимуществ предлагаемого подхода является то, что он позволяет, с одной стороны, объединить разнородные информационные ресурсы в интересах конкретного научного проекта, а с другой, предоставить возможности для работы с результатами проекта и полученными в ходе его выполнения продуктами в других проектах.

Следует отметить, что, по-видимому, подходы, связанные с именно оперативной виртуальной интеграцией различных информационных ресурсов в ближайшие годы станут безальтернативными. Это обусловлено резким ростом объемов получаемой информации, что, вряд ли, позволит продолжать использовать подходы, ориентированные на создание ресурсов, которые физически интегрируют в себе все объемы данных, необходимые для решения той или иной конкретной задачи. Это объективное обстоятельство, а также результаты проведенного в настоящей работе анализа, указывают на целесообразность выделения следующих основных приоритетов в развитии в России работ по созданию технологий, ориентированных на использование данных ДЗЗ в различных научно-исследовательских проектах:

- развитие технологий, позволяющих одновременно оперировать с информацией различных центров и систем (включая и зарубежных);
- развитие инструментов, позволяющих распределенным научным коллективам эффективно работать с большими объемами информации, полученной на основе данных спутниковых наблюдений;
- развитие технологий, позволяющих эффективно проводить работы по анализу и обработке данных ДЗЗ с использованием вычислительных ресурсов центров коллективного пользования;
- развитие ориентированных на решение научных задач комплексов коллективного пользования для хранения и обработки сверхбольших объемов данных ДЗЗ и результатов их обработки;

- интеграция систем, ориентированных на проведение научных исследований, с активно создающимися в рамках программ Роскосмоса и Росгидромета (в первую очередь, ЕТРИС ДЗЗ) федеральными инфраструктурами, обеспечивающими выполнение прикладных задач по дистанционному мониторингу окружающей среды;

- обеспечение максимально свободного доступа научных исследователей к информационным ресурсам, содержащимся в перспективных российских информационных системах ДЗЗ.

В настоящей работе использованы результаты, полученные в рамках следующих научных проектов и программ РАН (тема «Мониторинг», программы ДВО РАН «Спутниковый мониторинг...»), РФФИ (11-07-12025-офи-м-2011, 11-07-12026-офи-м-2011, 11-07-12028-офи-м-2011, 11-07-12048-офи-м-2011, 11-01-12107-офи-м-2011, 11-07-00511-а) 12-07-00545-а), Минобрнауки (проект № 07.514.11.4037).

Литература

1. Андреев М.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Наглин Ю.Ф., Прошин А.А., Е.В. Флитман Построение интерфейсов для организации работы с архивами спутниковых данных удаленные пользователи. Е.В. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 514-520.
2. Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Успенский А.Б. Использование спутниковых данных ДЗЗ для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2008. Т. 105. С. 6-16
3. Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Толпин В.А. Построение архивов результатов обработки спутниковых данных для систем динамического формирования производных информационных продуктов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Выпуск 5. Т. I. С.26-32.
4. Бурцев М.А., Емельянов К.С., Ефремов В.Ю., Мазуров А.А., Пахомов Л.А., Прошин А.А., Саворский В.П. Построение информационной системы удаленной работы с каталогами данных НЦ ОМЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7. № 4. С.64-71.
5. Бурцев М.А., Антонов В.Н., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Милехин О.Е., Прошин А.А., Соловьев В.И. Система работы с распределенными архивами результатов обработки спутниковых данных центров приема НИЦ Планета // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 55-76.
6. Бурцева Т.Н., Абросимов Н.И. Научно-исследовательский центр «Планета» // Земля и Вселенная. 2009. № 1. С. 46-50.
7. Глумов Н.И., Копенков В.Н., Мясников Е.В., Сергеев А.В., Чернов А.В., Чупишев Н.В. Автоматизированное формирование регионального банка космических снимков и его использование в геопорталах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 129-137.
8. Дядюченко В.Н., Селин В.А., Шилов А.Е., Волков С.Н., Горбунов А.В., Макриденко Л.А., Трифонов Ю.В., Асмус В.В., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Успенский А.Б., Шмельков К.И. Развитие космического комплекса гидрометеорологического и океанографического обеспечения на базе системы полярно-орбитальных ИСЗ серии «Метеор-М» // Исследование Земли из космоса. 2010. № 1. С. 13-19.
9. Ефремов В.Ю., Крашенинникова Ю.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В. Оптимизированная система хранения и представления географически привязанных спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Выпуск 4. Т. I. С.125-132.

10. *Ефремов В.Ю., Гирина О.А., Крамарева Л.С., Лупян Е.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Матвеев А.М., Прошин А.А., Сорокин А.А., Флитман Е.В.* Создание информационного сервиса «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 155-170.
11. *Лаврова О.Ю., Лупян Е.А.* Десять лет Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: история развития и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 7-18.
12. *Лагутин А.А., Никулин Ю.А., Жуков А.П., Лагутин А.А., Резников А.Н., Синицин 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.
13. *Левин В.А., Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Бабяк П.В.* Состояние дел и перспективы развития ЦКП Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН в области современных информационных и телекоммуникационных технологий // Открытое образование. 2008. № 4. С. 23-29.
14. *Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Мазуров А.А., Мальцев Д.В., Матвеев А.М., Прошин А.А., Толпин В.А., Халикова О.А., Крашенинникова Ю.С.* Возможности работы с долговременным архивом данных спутников LANDSAT по территории России и приграничных стран // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С.307-315.
15. *Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. С.81-89.
16. *Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С.* Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. №1. С.26-43.
17. *Лупян Е.А., Матвеев А.М., Уваров И.А., Бочарова Т.Ю., Лаврова О.Ю., Митягина М.И.* Спутниковый сервис See the Sea – инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С.251-262.
18. *Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190-198.
19. *Лупян Е.А., Саворский В.П.* Базовые информационные продукты обработки данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С.87-96.
20. *Лупян Е.А., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Гирина О.А.* Разработка информационной системы для работы с данными дистанционного спутникового мониторинга Дальнего Востока России с целью обеспечения научной и образовательной деятельности в области исследования и контроля состояния окружающей среды и опасных природных явлений // Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления : материалы международной науч.-практ. конф., г. Хабаровск, 4-6 октября 2011 г. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2011. С. 213-217.
21. *Носенко Ю.И., Лошкарев П.А.* Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ – проблемы, решения, перспективы (часть 1) // Геоматика. 2010. № 3. С.35-43.
22. *Носенко Ю.И., Новиков М.В., Заичко В.А., Ромашкин В.В., Лошкарев П.А.* Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ – проблемы, решения, перспективы (часть 2) // Геоматика. 2010. № 4. С.31-36.
23. *Саворский В.П., Аквилонова А.Б., Кибардина И.Н., Лупян Е.А., Назиров Р.Р., Панова О.Ю., Петрукович А.А., Смирнов М.Т.* Проект ЕИС ФКИ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. № 3. С.147-154.
24. *Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В.* Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного монито-

- ринга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 93-108.
25. Федеральная космическая программа России на 2006 – 2015 годы. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 22 октября 2005 г. № 635. http://www.federalspace.ru/download/fkp_2006_2015_osn_pol.doc.
 26. Шокин Ю.И., Антонов В.Н., Добрецов Н.Н., Кихтенко В.А., Лагутин А.А., Смирнов В.В., Чубаров Д.Л., Чубаров Л.Б. Распределенная система приема и обработки спутниковых данных Сибири и Дальнего Востока. Текущее состояние и перспективы развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. №5. С. 45-54.
 27. Albani M., Beruti V., Duplaa M., Giguere C., Velarde C., Mikusch E., Serra M., Klump J., Schroeder M. Long Term Preservation of Earth Observation Space Data. European LTDP Common Guidelines. Version 1.1 // http://earth.esa.int/gscb/ltdp/EuropeanLTDPCommonGuidelines_Issue1.1.pdf.
 28. Assefa M. Melesse, Qihao Weng, Prasad S. Thenkabail, and Gabriel B. Senay. Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling // *Sensors* 2007. 7(12). P. 3209-3241.
 29. Budget Activity: National Environmental Satellite, Data, and Information Service. 2012. http://www.corporateservices.noaa.gov/nbo/fy13_presidents_budget/7_NESDIS.pdf
 30. Coene Y., Gianfranceschi S., Marchetti P.G. Earth Observation and GIS Services Integration Approach in MASS. Proceedings of DASIA 2003 (ESA SP-532).
 31. Coene Y., Marchetti P.G., Smolders S. Architecture and Standards for a Distributed Digital Library of Geospatial Services // The 3rd Italian Research Conference on Digital Library Systems, 29-30 January 2007, Padova, Italy.
 32. EOS Science Plan. The State of Science in the EOS Program. NP-1998-12-069-GSFC, January 1999. Постоянная ссылка: [http:// eosps0.gsfc.nasa.gov/science_plan/SciencePlan.pdf](http://eosps0.gsfc.nasa.gov/science_plan/SciencePlan.pdf).
 33. Esfandiari M., Ramapriyan H., Behnke J., Sofinowski E. Earth observing system (EOS) data and information system (EOSDIS) – evolution update and future. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International. P. 4005-4008.
 34. Open archival information system – Reference model. ISO 14721:2003.
 35. Ramapriyan H.K. Development, Operation and Evolution of EOSDIS – NASA’s major capability for managing Earth science data. Presented at CENDI/NFAIS Workshop on Repositories in Science & Technology: Preserving Access to the Record of Science November 30. 2011.
 36. Stoney, W. A Guide to the Global Explosion of Land-Imaging Satellites; Markets and Opportunities. 2005.

Up-to-date approaches and technology arrangement of Earth observation data applications aimed to solve scientific tasks

E.A. Loupian¹, V.P. Savorsky², Yu.I. Shokin³, A.I. Aleksanin⁴, R.R. Nazirov¹,
I.V. Nedolugko⁴, O.Yu. Panova²

¹ *Space Research Institute of Russian Academy of Sciences*
117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 84/32
E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru

² *Fryazino Department of Kotelnikov's Institute of Radioengineering and Electronics*
141190 Fryazino, str. Vvedenskogo 1
E-mail: savor@sunclass.ire.rssi.ru

³ *Institute of Computational Technologies (Siberian Branch of RAS)*
630090 Novosibirsk, Academician M.A.Lavrentiev Ave., 6
E-mail: shokin@ict.nsc.ru

⁴ *Institute of Automation and Control Processes (Far Eastem Branch of RAS)*
690041 Vladivostok, Radio 5
E-mail: aleks@iacp.dvo.ru

The paper is devoted to discussion of up-to-date approaches and technology arrangement of Earth observation data applications aimed to solve scientific tasks. The work is based on analysis of operational Earth remote sensing systems and their data application technologies. Results of application particular properties analysis are given. Revealed problems of fast Earth observation (EO) information systems (IS) development during the last decade are discussed. The analysis is resulted in formulation of general EO IS requirements which should ensure integrated (cooperative) solutions of a wide range of tasks using remote sensing data within a distributed network (infrastructure) of scientific centers. The paper presents a review of existing Russian technologies and infrastructures which can become the basic ones for advanced information systems for satellite data application for scientific projects. Also, the development priorities for such systems are given.

Keywords: remote sensing, satellite data, information system, Earth remote sensing system, multiuser system, satellite data long term time series, extra-large-scale data arrays, satellite observations.