

# РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

С.А. Барталев, М.А. Бурцев, Е.А. Лупян, А.А. Прошин, И.А. Уваров

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

Наземные экосистемы Северной Евразии играют ключевую роль в регулировании глобальных экологических процессов и представляют собой непрерывно изменяющуюся систему со сложными внутренними связями и закономерностями динамики. Разработка критериев и индикаторов устойчивого развития наземных экосистем требует регулярно обновляемой информации об их состоянии и происходящих в них динамических процессах. Современный этап развития спутниковых методов наблюдения Земли открывает возможности построения систем мониторинга на континентальном и глобальном уровнях. Институт космических исследований РАН в партнерстве с рядом ведущих российских и зарубежных научно-исследовательских организаций разрабатывает системы спутникового мониторинга и тематические информационные продукты, отражающие состояние наземных экосистем Северной Евразии. Создаваемые информационные продукты и базы данных могут найти использование при проведении фундаментальных исследований в области глобальных изменений климата и биосферы, а также для решения целого ряда прикладных задач управления природными ресурсами и хозяйственной деятельностью. Доступность этих данных широкому кругу ученых и специалистов является одним из необходимых условий проведения эффективных научных исследований по указанным направлениям в регионе Северной Евразии. В настоящей статье представлена структура и базовые элементы информационной системы **TerraNorte**, призванной осуществлять систематизированное хранение и обновление географических баз данных мониторинга наземных экосистем Северной Евразии и обеспечивать удаленный доступ пользователей к информации на основе Интернет-технологий.

## Введение

Наблюдаемые процессы глобальных изменений климата и биосферы находятся в настоящее время в центре внимания правительств наиболее развитых стран и ряда международных организаций (ООН, Европейская комиссия и др.). Результаты исследований указывают на возможную связь происходящего потепления с нарастанием процессов деградации экосистем, вызываемых, в частности, нерациональным лесопользованием, повышением горимости лесов вследствие антропогенного влияния, гибелью лесных насаждений в результате техногенного воздействия или массового размножения насекомых, несбалансированной эксплуатацией сельскохозяйственных и пастбищных земель, а также ряда других факторов.

Северная Евразия – это ключевой регион для изучения глобальных изменений, поскольку наблюдаемые в регионе климатические тренды относятся к числу наиболее заметных на планете. Наземные экосистемы Северной Евразии, включающие в себя совокупность зональных природных комплексов и простираемые от арктических пустынь и тундр до сухих южных степей и полупустынь, представляют собой непрерывно изменяющуюся систему со сложными внутренними связями и закономерностями динамики. При этом, динамичность экосистем под воздействием природных, в том числе и внешне разрушительных, например, таких как лесные пожары, факторов часто является неотъемлемым условием их устойчивого развития. Вместе с тем, нарастающее антропогенное влияние привносит в экосистемы как внутренне не свойственные им факторы воздействия (рубка леса, техногенное загрязнение и т.д.), так и изменяет параметры изначально присущих ей факторов (лесные и травяные пожары, насекомые и т.д.), выводя их, в ряде случаев, за границы стационарных режимов.

Северная Евразия охватывает 19% поверхности суши Земли и 59% суши планеты, лежащей севернее 40° С.Ш. В Северной Евразии находится около 70% площади бореальных лесов и более 1/3 территории вечной мерзлоты планеты. Здесь расположены наиболее уязвимые экосистемы, функционирующие в экстремальных климатических условиях. Отмеченное инструментальными наблюдениями прошлого столетия повышение температуры воздуха, было наибольшим во внутренних районах Северной Евразии, а моделирование будущих климатических трендов показывает, что самые большие изменения произойдут именно в этом регионе. В настоящее время значительные изменения наблюдаются в атмосфере, гидросфере, криосфере и наземном покрове Северной Евразии, ясного объяснения причин которым пока не найдено.

Институт космических исследований РАН в партнерстве с ведущими российскими и зарубежными научно-исследовательскими организациями разрабатывает методы и автоматизированные системы спутникового мониторинга наземных экосистем Северной Евразии для информационного обеспечения фундаментальных исследований в области глобальных изменений климата и биосферы, а также решения экономически и социально значи-

мых задач устойчивого управления природными ресурсами и хозяйственной деятельностью в регионе. В результате выполненных исследований к настоящему времени разработан ряд информационных продуктов, а также накоплены обширные и регулярно обновляемые базы данных, отражающие состояние и динамику наземных экосистем Северной Евразии. Указанные данные чрезвычайно важны для использования в климатических моделях, для моделирования цикла углерода и других биогеохимических циклов, а также циклов воды и энергии, для оценки характеристик биологического разнообразия и ряда других важных аспектов взаимодействия наземных экосистем с климатической системой Земли и человеческим обществом. Разработанные базы данных должны стать доступными для их использования широким кругом ученых и специалистов. Информационная система TerraNorte призвана обеспечить систематизированное хранение накапливаемых данных спутникового мониторинга наземных экосистем Северной Евразии, обновление созданных географических баз данных по мере получения новых информационных продуктов, а также удаленный доступ к имеющимся данным заинтересованных пользователей на основе Интернет-технологий.

### **Исходные предпосылки для разработки системы TerraNorte**

Осознание необходимости открытого и эффективного доступа ученых и специалистов к данным о состоянии и динамике наземных экосистем Северной Евразии, как ключевого региона для проведения исследований процессов глобального изменения климата и биосферы, а также появление целого ряда практических предпосылок послужили импульсом и создали необходимый фундамент для разработки информационной системы TerraNorte.

Последние годы характеризуются стремительно возрастающими возможностями регулярного спутникового мониторинга Земли на континентальном и глобальном уровнях. Это, прежде всего, связано с запуском и успешным функционированием спутниковых систем дистанционного зондирования SPOT-Vegetation, Terra/Aqua-MODIS и Envisat-MERIS, обеспечивающих получение данных наблюдений в оптическом диапазоне длин волн с низким и средним пространственным разрешением и высокой частотой наблюдений. Отличительной чертой использования этих спутниковых данных является политика открытого к ним доступа пользователей по сети Интернет, при высоком уровне технической поддержки и оперативности доставки данных, так как это реализовано, например, в системах распространения данных приборов SPOT-Vegetation (<http://free.vgt.vito.be>) и Terra/Aqua-MODIS (<http://lpdaac.usgs.gov>).

Развитию возможностей спутникового мониторинга на континентальном и глобальном уровнях также в существенной мере содействовала эффективная система сбора и распространения данных, получаемых радиометром высокого разрешения ETM+ со спутника Landsat-7, успешно функционировавшего до начала 2003 года. Открытый глобальный архив изображений Landsat-ETM+ (<http://glcf.umiacs.umd.edu>) в настоящее время не имеет аналогов и является одним из наиболее активно используемых в мире Интернет-ресурсов спутниковых данных.

В настоящее время с использованием спутниковых данных низкого разрешения создан ряд информационных продуктов глобального уровня, отражающих пространственное распределение, биофизические характеристики и динамические процессы в наземных экосистемах планеты. Получили широкое использование карты наземных экосистем, созданные по данным NOAA-AVHRR в рамках проектов IGBP-DIS [1] и университета Мэриленд [2], а также по данным SPOT-Vegetation в рамках проекта Global Land Cover 2000 Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии [3] и данным Terra-MODIS в рамках проекта, выполняемого Университетом Бостона [4].

С использованием данных NOAA-AVHRR и Terra/Aqua-MODIS созданы глобальные продукты, отражающие структуру растительного покрова в непрерывных шкалах (Vegetation Continuous Fields), в частности, сомкнутость лесного покрова, соотношение хвойных и лиственных пород в древесном пологе леса, и некоторые другие характеристики [5].

Для оценки масштабов воздействия огня на растительный покров планеты разработаны системы глобального мониторинга действующих пожаров по данным спутниковых приборов NOAA-AVHRR (World Fire Web <http://www-gvm.jrc.it/tem/wfw/wfw.htm>) [6], Terra/Aqua-MODIS (<http://modis-fire.gsfc.nasa.gov>) [7] и ATSR-ERS-2 (World Fire Atlas <http://odisseo.esrin.esa.it/ionia/FIRE/AF/ATSR>) [8]. В рамках координируемого Объединенным исследовательским центром Европейской комиссии проекта Global Burnt Area 2000 выполнено глобальное картографирование повреждений растительного покрова пожарами в 2000 году [9].

Для обеспечения эффективного доступа пользователей к созданным информационным продуктам глобального уровня разработан ряд информационных систем, к наиболее известным среди которых можно отнести такие как:

- Global Land Cover Facility (<http://glcf.umiacs.umd.edu>) - крупный информационный ресурс, поддерживаемый университетом Мэриленд (США). На сайте предусмотрен интерактивный поиск материалов по архиву спутниковых данных Landsat, ASTER, MODIS, а также, полученных с использованием этих данных, производных тематических продуктов, отражающих качественные и количественные характеристики растительного покрова планеты;

- GeoSuccess (<http://www.geosuccess.net>) - система, поддерживаемая Фламандским институтом технологических исследований (VITO, Бельгия). На сайте представлены информационные продукты, полученные по спутниковым данным, в том числе данные о первичной продуктивности, классификации биомов, температурных аномалиях и пройденных огнем территориях.
- Web-сайт GVM EC JRC – сайт Отдела глобального мониторинга растительности Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии (<http://www-gvm.jrc.it>), дающий доступ к глобальным данным о наземных экосистемах и повреждениях пожарами растительного покрова по состоянию на 2000 год.

Приведенные выше примеры спутниковых данных и тематических продуктов глобального уровня, а также систем доступа пользователей к этим данным являются ценным информационным ресурсом, в том числе, и для проведения биосферных и климатических исследований в регионе Северной Евразии. В то же время, в институтах Российской Академии Наук создан ряд тематически ориентированных систем спутникового мониторинга и информационных продуктов национального и субконтинентального уровней, обеспечивающих в ряде случаев более детальную или не существующую на глобальном уровне, информацию о различных аспектах состояния наземных экосистем Северной Евразии и происходящих в них процессов.

Институтом космических исследований РАН в сотрудничестве с рядом институтов Сибирского отделения РАН накоплены и регулярно пополняются, полностью охватывающие территорию Северной Евразии, долговременные архивы спутниковых данных NOAA-AVHRR. Разработана система синтеза улучшенных, то есть свободных от влияния облаков, снежного покрова, и очищенных от аппаратных помех, сезонных изображений по данным SPOT-Vegetation, а также разработана база данных сезонных изображений региона Северной Евразии за период начиная с 1998 года [10].

Полученная по данным SPOT-Vegetation карта наземных экосистем Северной Евразии [11] дает, на сегодняшний день, наиболее современное и точное описание географического распределения различных типов наземных экосистем в регионе. Эта карта легла в основу создания новой карты лесов России [12], отражающей распределение лесов по породному составу и сомкнутости полога.

Разработана автоматическая система картографирования поврежденной огнем растительности на основе комбинированного использования данных SPOT-Vegetation и результатов детектирования действующих пожаров по данным Terra/Aqua-MODIS [13]. На ее основе создана до настоящего времени уникальная по уровню точности и временному разрешению база данных для региона Северной Евразии за период начиная с 2000 года [14].

Ведутся работы по созданию системы мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий с использованием спутниковых данных Terra/Aqua-MODIS пространственного разрешения 250 м [15]. После отработки методов анализа спутниковых данных на уровне ключевых регионов России планируется, что их использование позволит получать информацию о состоянии сельскохозяйственных земель на уровне всего зернового пояса Северной Евразии.

В Институте космических исследований РАН проводятся исследования по оценке возможностей использования спутниковых данных среднего разрешения (250-300м), получаемых приборами Terra/Aqua-MODIS и Envisat-MERIS, а также изображений высокого разрешения Landsat-ETM+ и Метеор-3М/МСУ-Э для мониторинга вырубок лесов.

Таким образом, уже в настоящее время для региона Северной Евразии доступен достаточно представительный набор спутниковых данных различного разрешения и созданных на их основе информационных продуктов, которые могут быть эффективно использованы для проведения исследований в области глобальных изменений биосферы и климата и представляют потенциальный интерес для широкого круга ученых и специалистов. Кроме того, в недалеком будущем ожидается получение по спутниковым данным ряда информационных продуктов, характеризующих биофизические свойства растительного покрова, знание которых необходимо для моделирования продукционных процессов и компонентов углеродного цикла в наземных экосистемах.

Наряду с указанными выше предпосылками, немаловажным фактором также является многолетний опыт, накопленный к настоящему времени в Институте космических исследований РАН в области разработки информационных систем автоматического сбора и распространения данных с использованием Интернет-технологий, который нашел применение и развитие при разработке информационной системы TerraNorte.

### **Место системы TerraNorte в функциональной структуре спутникового мониторинга наземных экосистем Северной Евразии**

Система TerraNorte является одним из ключевых структурных элементов системы спутникового мониторинга наземных экосистем Северной Евразии, функциональная схема которого в обобщенном виде представлена на рис. 1 и включает в себя следующие основные компоненты:

1. Подсистема сбора и предварительной обработки спутниковых данных;
2. Подсистема тематического анализа спутниковых данных;
3. Подсистема анализа данных и моделирования;

#### 4. Информационная система TerraNorte.

Ниже рассмотрено содержание указанных компонентов системы спутникового мониторинга наземных экосистем Северной Евразии.

**Подсистема сбора и предварительной обработки спутниковых данных** предназначена для формирования архивов данных спутниковых наблюдений и получения улучшенных, т.е. очищенных от влияния факторов, ограничивающих их использование (облака, тени, аппаратные помехи и т.д.), а также при необходимости скорректированных за влияние атмосферы, угловых условий освещения и наблюдения, продуктов данных.

Классифицируя доступные в настоящее время и активно используемые для мониторинга наземных экосистем Северной Евразии спутниковые системы оптического диапазона длин волн по уровню пространственного разрешения, можно выделить следующие основные группы:

*Данные низкого пространственного разрешения (~ 1 км)*, имеющие, как правило, наиболее высокую периодичность наблюдений и способные не реже чем ежедневно обеспечивать глобальное покрытие Земли (в бореальной зоне до 2-3 раз в зависимости от широты местности). К спутниковым инструментам этого уровня разрешения относятся системы NOAA-AVHRR, SPOT-Vegetation и Terra/Aqua-MODIS, обеспечивающие получение данных измерений в широком диапазоне длин волн оптического спектра.

*Данные среднего пространственного разрешения (~ 250-500 м)*, к числу которых относятся наблюдения, проводимые спутниковыми системами Terra/Aqua-MODIS и Envisat-MERIS. Эти системы, как правило, способны обеспечить глобальное покрытие в течение 1-3 дней и также проводят измерения в широком диапазоне длин волн.

*Данные высокого пространственного разрешения (~ 20-50 м)*, обеспечивающие, как правило, частоту наблюдений одной территории не чаще чем один раз в две недели. К спутниковым системам этого класса, в частности относятся Landsat-TM/ETM+, SPOT-HRV/HRVIR, Terra-ASTER, Meteor-3M/МСУ-Э.

*Данные сверхвысокого пространственного разрешения (~ 1-3 м)*, применяемые, как правило, для выборочных наблюдений на нерегулярной основе. К их числу, в частности, относятся спутниковые системы IKONOS, Quick Bird и SPOT-HRG.

Комбинированное использование спутниковых данных указанных выше групп, в совокупности с наличием соответствующих алгоритмов анализа данных и методов пространственного моделирования, позволяет спроектировать систему мониторинга наземных экосистем Северной Евразии, обеспечивающую квазинепрерывность наблюдений при субконтинентальном охвате территории и получении в ряде случаев детальных характеристик ключевых объектов и явлений.

В настоящее время спутниковые данные и результаты их обработки поступают в систему из центра приема ИКИ РАН и центров сбора и обработки данных различных российских институтов (ИСЗФ СО РАН, ИОА СО РАН, ИКФИА СО РАН и др.). В систему также поступают данные из специализированных Российских и международных центров приема, обработки и распространения спутниковых данных. При этом комплекс работ по созданию TerraNorte не предусматривает разработки новых технических и программных средств сбора и предварительной обработки спутниковых данных, а реализация соответствующей подсистемы основывается на тесной интеграции TerraNorte с комплексом разработанных в ИКИ РАН автоматических технологий обработки различных типов спутниковых данных [16]. Получение и ведение архивов спутниковых данных, а также доступ пользователей к ним, как правило, обеспечиваются в рамках различных специализированных проектов, выполняемых ИКИ РАН и его партнерами. В рамках разработки TerraNorte предусмотрено согласование протоколов и форматов получения спутниковых данных из внешних систем, а также отдельные специальные функции их предварительной обработки, целесообразность которых диктуется особенностями использования данных для решения задач оценки состояния и мониторинга динамики наземных экосистем, как, например формирование улучшенных сезонных композитных изображений по данным SPOT-Vegetation [10].

**Подсистема тематического анализа спутниковых данных** призвана обеспечить формирование тематических информационных продуктов о состоянии и динамике наземных экосистем Северной Евразии на основе использования данных спутниковых наблюдений, и включает в себя описанные ниже основные блоки.

*Блок картографирования наземных экосистем* ориентирован на получение информации о пространственном распределении покрытых и не покрытых растительностью земель, видовой и возрастной структуре растительности, а также ряде других количественных и качественных характеристик наземных экосистем Северной Евразии. На данном этапе целесообразно условно выделять субконтинентальный, региональный и локальный уровни картографирования, различающиеся не только пространственной детальностью получаемых карт, и соответственно разрешением используемых данных дистанционных наблюдений, но и их легендой в зависимости от региона и информационных возможностей спутниковых данных. Согласованность и сопоставимость легенд карт различных уровней и регионов может быть эффективно обеспечена использованием разработанной ФАО Системы Классификации Наземного Покрова LCCS (Land Cover Classification System) [17] ([www.glcn-lccs.org](http://www.glcn-lccs.org)).

Блок оценки динамики наземных экосистем должен обеспечивать выявление следующих типов изменений в лесах:

1. *Крупномасштабные изменения качественных и структурных характеристик растительного покрова* в результате влияния факторов импактного деструктивного воздействия на наземные экосистемы, таких как пожары, вырубки, повреждения в результате техногенных воздействий, болезней и массового размножения насекомых и ряда других явлений;
2. *Долгосрочные тренды состояния растительности*, отражающие восстановительную динамику и ход сукцессионных процессов на участках подвергнутых воздействию деструктивных факторов, реакцию растительности на продолжительное антропогенное воздействие и изменения климата, в частности, изменения видовой структуры и биометрических характеристик наземных экосистем, смещение границ биомов лес–тундра и лес–степь;
3. *Фенологические изменения растительного покрова*, определяемые сезонной ритмикой развития растительности, наличием снежного покрова в лесах, частотой и масштабами воздействия пожаров на экосистемы.

Блок оценки биофизических характеристик растительного покрова (биомасса, FPAR, NPP, NEP, LAI) направлен на получение данных о продуктивности наземных экосистем с целью их использования в качестве параметров в моделях энерго– и газо– обмена в системе растительность – атмосфера, и, в частности, моделях углеродного цикла.

Решение указанных выше задач в общем случае требует использования временных серий данных спутниковых наблюдений. При этом, одним из эффективных подходов может быть основан на классификация факторов динамики лесных бореальных экосистем, при котором рассмотрение совокупной динамики лесов рассматривается в виде суперпозиции быстрых изменений, сезонной ритмики и трендовой динамики их состояния [18]. Это позволяет формализовать постановку задачи мониторинга динамических явлений в лесах и осуществлять в рамках предложенных представлений целевую разработку математических методов анализа данных спутниковых наблюдений.

**Подсистема анализа данных и моделирования** процессов в наземных экосистемах предназначена для создания производных информационных продуктов высокого уровня на основе банка данных TerraNorte с использованием специализированных алгоритмов тематического анализа и математических моделей и включает в себя, в частности, следующие типы моделей:

1. модели продукционных процессов в наземных экосистемах;
2. модели сукцессонной динамики растительности;
3. модели взаимодействия наземных экосистем и климата;
4. модели оценки компонентов цикла углерода и других биогеохимических циклов;
5. модели циклов энергии и воды.

## Структура информационной системы TerraNorte

Структура информационной системы TerraNorte включает в себя ряд рассмотренных ниже компонентов, а именно:

1. Банк данных
2. Геоинформационная система
3. Подсистема удаленного доступа к данным

*Банк данных* является ядром информационной системы TerraNorte и включает в себя полученные в результате предварительной обработки улучшенные продукты данных спутниковых наблюдений, разработанные на основе использования спутниковых изображений тематические информационные продукты, а также карты и базы данных, отражающие различные аспекты состояния и динамики наземных экосистем, климатической и социально-экономической систем Северной Евразии, полученные на основе данных, отличных от спутниковых.

С целью обеспечения эффективной выдачи информации пользователям, а также дополнительной обработки данных и создания новых информационных продуктов была разработана специальная структура внутреннего представления географической информации в банке данных информационной системы, включая формат данных, их пространственную организацию и структуру атрибутивных таблиц.

В настоящее время банк данных включает в себя следующие информационные продукты:

1. очищенные от влияния облаков, теней, аппаратных помех и некоторых других факторов, сезонные (весна, лето, осень) мозаики данных SPOT-Vegetation за период 1998-2004 годы на всю территорию Северной Евразии;
2. карта наземных экосистем Северной Евразии, полученная по данным SPOT-Vegetation;
3. карта лесов России, полученная на основе синтеза ряда информационных продуктов, таких как карта наземных экосистем Северной Евразии, карта лесов СССР и карта сомкнутости лесного покрова;

4. база данных повреждений наземных экосистем Северной Евразии пожарами за период 2000-2003 годов, детектированных по результатам анализа спутниковых данных SPOT-Vegetation, а также ряд производных информационных продуктов второго уровня, отражающих географическое распределение характеристик продолжительности пожароопасных сезонов и интенсивности их воздействия на растительный покров.

Картографическая информация хранится в банке данных в растровом и векторном форматах. Векторное представление данных используется, в основном, для географической основы, в то время как, полученные по спутниковым данным, тематические информационные продукты сохраняют изначальную растровую форму представления. Внутреннее представление ГИС-слоев географической основы позволяет использовать их для задач картографирования в различных масштабах с разным уровнем генерализации.

*Геоинформационная система* предназначена для осуществления двух основных функций, а именно для обеспечения доступа локальных пользователей к банку данных TerraNorte, а также для проведения пространственного анализа и моделирования с целью получения производных информационных продуктов второго и более высокого уровней на основе различных пространственных данных.

*Подсистема удаленного доступа* к данным на основе Интернет-технологий обеспечивает пользователям возможность получения как собственно информационных продуктов из банка данных, так и данных в виде табличных и графических документов, синтезируемых в соответствии с запросами пользователей. В настоящее время пользователи могут получить доступ к информационной системе TerraNorte через веб-сайт по адресу <http://terranorte.iki.rssi.ru>. Основной раздел сайта представляет пользователю информационные продукты в виде собственно продуктов спутниковых данных, цифровых карт и готовых к печати картографических документов, доступных для загрузки в компьютер пользователя, изображений для предварительного просмотра продуктов, а также форм запросов к базе данных для интерактивного построения таблиц и графиков.

На основе карт повреждений экосистем пожарами с использованием методов ГИС-анализа была создана динамическая база данных о площадях повреждений экосистем пожарами на территории субъектов и федеральных округов РФ, а также стран региона Северной Евразии в разрезе различных типов наземных экосистем. Помимо непосредственной загрузки файлов базы данных в компьютер удаленного пользователя, ему предоставляется возможность интерактивной реализации запросов к базе данных, и получения информации о сезонной динамике повреждений экосистем пожарами в виде таблиц и графиков. Программное обеспечение сервера позволяет получить данные о повреждениях на территории интересующих административных единиц различного уровня (субъекты РФ, федеральные округа, страны и группы стран) с различным уровнем обобщения по типам наземных экосистем. Доступные в настоящее время данные отражают динамику площади повреждений с декадным временным разрешением за период с 2000 по 2004 гг.

Разрабатываемый в настоящее время раздел «Карты on-line» предназначен для интерактивного доступа к спутниковым и картографическим данным непосредственно в окне web-браузера, что позволит предоставить пользователю возможности анализа имеющихся в системе данных без инсталляции специального программного обеспечения на локальном компьютере.

### **Особенности программно-аппаратной реализации системы TerraNorte**

Техническая реализация информационной системы TerraNorte основана на объединенном использовании нескольких файл-серверов, обеспечивающих хранение содержимого банка данных. При этом данные распределены между серверами в соответствии с их статусом (входные, промежуточные, выходные), типом (спутниковые, картографические, табличные) и форматом хранения (СУБД, бинарные файлы, файлы в формате ГИС-пакетов и др.)

Доступ конечных пользователей к данным системы обеспечивается web-сервером. Он позволяет:

- просматривать карты и другие изображения в режиме on-line непосредственно в окне браузера;
- загружать информационные продукты на компьютер пользователя в виде файлов для работы в ГИС-пакетах;
- делать запросы к базам данных через web-интерфейс для получения данных в форме таблиц и графиков.

Реализация web-интерфейса осуществляется на основе программного обеспечения ОС FreeBSD, HTTP-сервера Apache, СУБД MySQL и других, а также с использованием специально разработанных в ИКИ РАН программных средств.

Различные данные, предоставляемые web-сервером, подготавливаются различным образом в зависимости от сложности обработки и требуемой гибкости пользовательских запросов. Информационные продукты, подготовка которых требует значительных временных затрат или участия экспертов (например, сезонные мозаики, карты пройденных огнем территорий, карты наземных экосистем), размещаются на сервере в виде законченных и готовых для использования наборов данных. Продукты, которые могут быть подготовлены по запросу пользователя в режиме реального времени (например, статистические данные), соз-

даются программами-скриптами на web-сервере в автоматическом режиме на основе готовых информационных продуктов более низкого уровня.

Подготовка информационных продуктов осуществляется с помощью разработанных в ИКИ автоматизированных алгоритмов обработки спутниковых и картографических данных, реализованных в виде специального программного обеспечения, а также программ-скриптов и моделей для современных ГИС-пакетов (ArcView GIS, ERDAS Imagine и др.)

Регулярно поступающие в систему входные данные обрабатываются в автоматическом режиме специализированным программно-аппаратным комплексом, а получаемые результаты поступают в банк данных для централизованного хранения и последующего использования.

## Перспективы развития информационной системы TerraNorte

Первоочередные перспективы развития системы TerraNorte связаны с дальнейшим наполнением банка данных новыми информационными продуктами, отражающими динамику лесных экосистем в результате вырубок, техногенных воздействий и других деструктивных природных и антропогенных факторов, а также состояние сельскохозяйственных угодий. Рассматривается возможность включения в систему информационных продуктов, отражающих процессы лесовозобновления и сукцессионного развития насаждений после воздействия деструктивных факторов, фенологической динамики растительного покрова Северной Евразии, динамики снежного покрова и ряда других продуктов, извлекаемых из данных спутниковых наблюдений. Предполагается расширение функциональности пользовательского интерфейса интерактивного доступа к данным: добавление новых форм запросов данных, средств визуализации спутниковых и картографических данных на web-сайте.

Информационная система TerraNorte уже нашла применение в исследованиях динамики наземных экосистем, в частности, при оценке площадей пройденных огнем территорий северной Евразии. Ожидается, что использование системы позволит провести новые научные исследования в области динамики и устойчивого развития наземных экосистем в условиях влияния антропогенных факторов и изменяющегося климата, включая оценки элементов углеродного баланса в наземных экосистемах Северной Евразии.

Разработка информационной системы поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект № 04-07-90263-в).

## Литература

1. Loveland, T. R., Zhu, Z., Ohlen, D. O., Brown, J. F., Reed, B. C., and Yang, L. 1999, An analysis of the IGBP Global Land-Cover Characterization Process, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65, 1021 – 1032
2. Hansen, M., DeFries, R., Townshend, J. R. G. and Sohlberg, R., 2000, Global land cover classification at 1km resolution using a decision tree classifier, *International Journal of Remote Sensing*. 21: 1331-1365.
3. Bartholomé, E. and Belward, A. S., 2005, GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth Observation data. *International Journal of Remote Sensing* in press, March 2005.
4. Friedl, M. A., D. K. McIver, J. C. F. Hodges, X. Y. Zhang, D. Muchoney, A. H. Strahler, C. E. Woodcock, S. Gopal, A. Schneider, A. Cooper, A. Baccini, F. Gao and C. Schaaf (2002). "Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results." *Remote Sensing of Environment* 83: 287-302.
5. Hansen M. C., R. S. DeFries, J. R. G. Townshend, M. Carroll, C. Dimiceli, and R. A. Sohlberg, 2003. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First Results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm, Published Date: 9 September 2003, *Earth Interactions*
6. Grégoire J.-M., and S. Pinnock, 2000 The World Fire Web network. A satellite based system for globally mapping fires in vegetation. *Publication of the European Communities, S.P.I.00.11, p. 6, 2000.*
7. Justice, C. O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., and Kaufman, Y., 2002, The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83:244-262.
8. Arino O., and Rosaz J.M. 1997 World Fire Atlas. *Proceedings of conference on Remote Sensing and Forest Monitoring, Rogow, Poland, p.606-615.*
9. Grégoire, J.-M., Tansley, K., & Silva, J.M.N. (2003). The GBA2000 initiative: Developing a global burned area database from SPOT-VEGETATION imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 1369 - 1376.
10. Барталев С.А., Егоров В.А., Ильин В.О., Лупян Е.А. Синтез улучшенных сезонных изображений Северной Евразии для картографирования и мониторинга динамики растительности по данным SPOT-Vegetation // Всероссийская конференция "Дистанционное зондирование поверхности Земли и атмосферы", Иркутск, 2-6 июня 2003, 9 стр.
11. Bartalev, S.A., A.S. Belward, D. V. Erchov, and A. S. Isaev, 2003, A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 9, 1977 – 1982
12. Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Потапов П.В., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю. Карта лесов Российской Федерации. База данных информационной системы спутникового мониторинга наземных экосистем Северной Евразии, Институт космических исследований РАН (<http://terranorte.iki.rssi.ru>).

13. *Егоров В.А., Барталев С.А.* Анализ временных серий спутниковых данных SPOT-Vegetation для детектирования повреждённой пожарами растительности Северной Евразии // Сборник научных статей Второй открытой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Институт космических исследований РАН, Москва, 16-18 ноября 2004г. (настоящий сборник)
14. *Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А., Уваров И.А.* Оценка площадей повреждений наземных экосистем Северной Евразии пожарами в 2000–2003 годах по спутниковым данным инструмента SPOT-Vegetation // Сборник научных статей Второй открытой Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Институт космических исследований РАН, Москва, 16-18 ноября 2004г. (настоящий сборник)
15. *Нейштадт И.А., Барталев С.А., Ершов Д.М., Лупян Е.А., Савин И.Ю.* Алгоритмы анализа данных спутниковых наблюдений TERRA-MODIS для мониторинга сельскохозяйственных земель // *Геоинформатика. Международная научно-техническая конференция, посвященная 225-летию МИИГАуК, Москва, 2004, 205-209 с.*
16. *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: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений.* Сборник научных статей, Москва, Полиграф сервис, 2004 с 81-89.
17. *Di Gregorio A. and Jansen L.J.M., 2000.* Land Cover Classification System, concepts and user manual, GCP/RAF/287/ITA Africover (Food and Agriculture Organization of the United Nations Publishing Service, Viale delle Terme di Caracalla, 00100, Rome, Italy). 179 pp
18. *Bartalev, S.A., A.S. Belward, 2002,* Land cover and phenological monitoring in boreal ecosystems using the SPOT - VEGETATION instrument: new observations for climate studies. *In proceedings of the Use of Earth Observation data for phenological monitoring workshop held in Joint Research Centre, Ispra (VA) Italy 12th -13th December 2002, pp. 41-48*



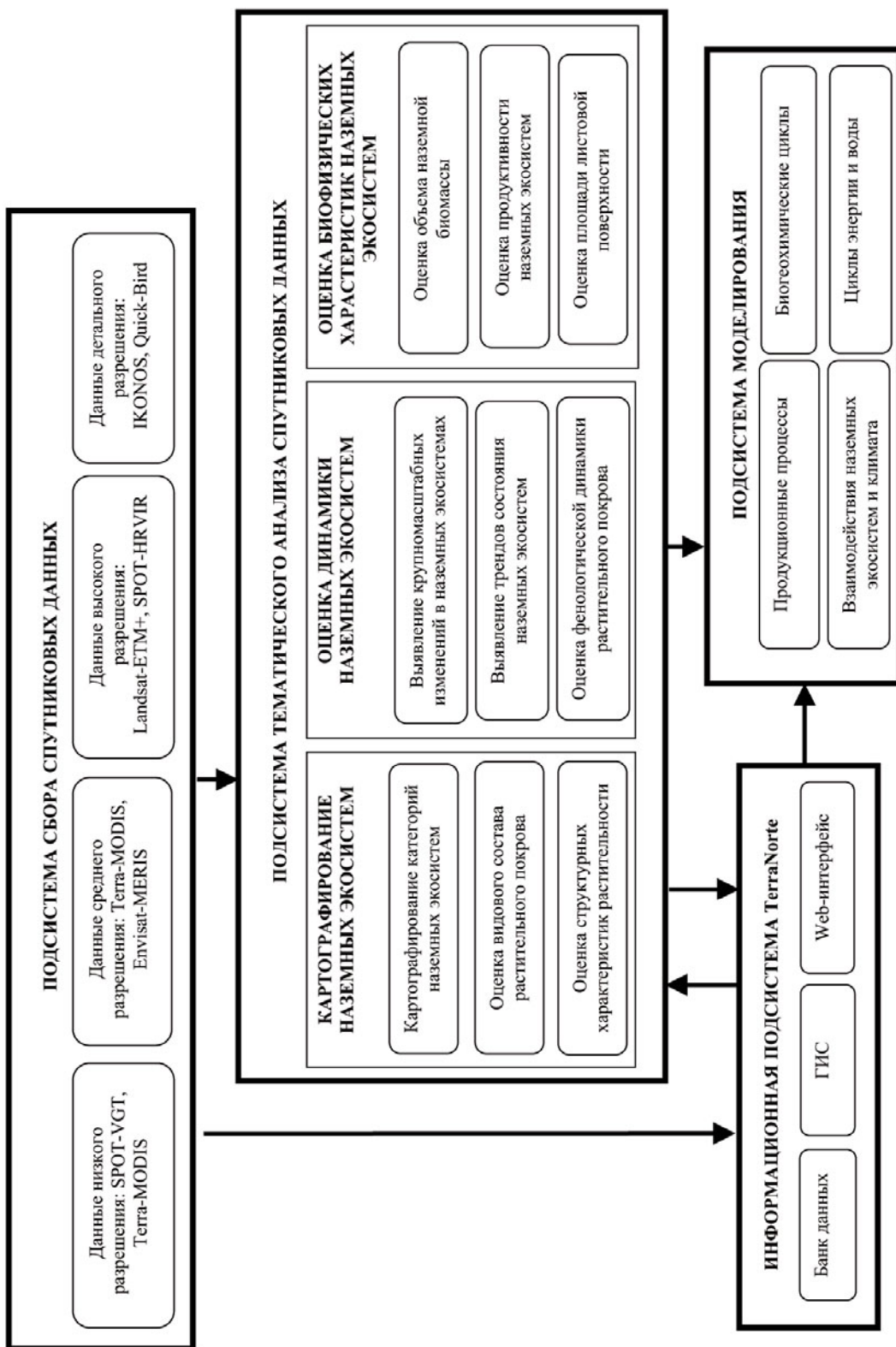


Рис. 1 Основные компоненты системы спутникового мониторинга наземных экосистем Северной Евразии