

ОРГАНИЗАЦИЯ БЛОКА ОБРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ПРИБОРА MODIS ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

*А.А. Галеев**, *Д.В. Еришов***, *Е.А. Лупян**, *А.А. Мазуров**, *С.А. Тацилин****, *А.А. Прошин**,
*Е.В. Флитман**

** Институт космических исследований РАН. E-mail: info@d902.iki.rssi.ru,*

*** Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,*

**** Институт солнечно-земной физики СО РАН*

Описывается система для работы с данными прибора MODIS для обеспечения мониторинга лесных пожаров на территории России. Представлены различные возможности получения данных обработки прибора MODIS как из российских, так и из зарубежных центров приема и обработки спутниковых данных. Описана схема усвоения данных и формирования на их основе различных информационных продуктов, необходимых для организации работы служб охраны лесов от пожаров. Обсуждаются также возможности автоматизированной системы обработки данных MODIS для получения информации о лесных пожарах, которая внедряется в интересах ИСДМ МПР РФ в настоящее время в российских центрах приема и обработки спутниковых данных.

Начиная с 1995 г., в интересах службы авиационной охраны лесов России («Авиалеосохрана», далее — АЛО) [1], разрабатывалась и поддерживалась система спутникового мониторинга лесных пожаров на территории России [2, 3]. Эта система сегодня является одним из блоков Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ. (ИСДМ МПР РФ) (см. статью *Еришов Д.В., Коровин Г.Н., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Тацилин С.А.* «Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров» настоящего сборника). До 2003 г. система была ориентирована на работу с данными, получаемыми с метеорологических спутников серии NOAA (прибор AVHRR [4]). Запуск и достаточно надежная работа на экспериментальных спутниках TERRA и AQUA прибора MODIS [5] позволили начать использование данных этого прибора для проведения оперативных работ по мониторингу лесных пожаров. Для работы с этими данными в рамках ИСДМ МПР РФ был создан специальный блок, обеспечивающий их получение, архивацию, обработку и представление. В настоящей работе описаны основные возможности этого блока, в том числе: схемы получения данных, автоматизированная система обработки данных, созданная для работы в центрах приема информации, система хранения и распространения данных, описание основных информационных продуктов, получаемых в системе на основе обработки данных MODIS.

Основные особенности прибора MODIS

Радиометр MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectro-radiometer) обеспечивает получение данных, необходимых для изучения различных процессов на поверхности Земли, в атмосфере и океане. В настоящее время прибор функционирует на спутниках TERRA и AQUA, что, в частности, позволяет получать информацию практически по всей территории России не реже четырех раз в сутки. Прибор разрабатывался в Научно-исследовательском центре им. Годдарда (GSFC) (США) и имеет следующие основные характеристики:

- число спектральных диапазонов..... 36
- общий перекрываемый участок спектра 0,4–14,4 мкм
- пространственное разрешение 250 м – 1 км
- точность измерения температуры поверхности 1 К (суша), 0,2 К (море)

Эти характеристики позволяют использовать данные MODIS для решения большого числа различных задач. Прибор имеет два канала (21 и 22) в диапазоне 3,7 мкм, которые традиционно используются для детектирования пожаров. Эти каналы имеют такое же пространственное разрешение, как и соответствующий канал прибора AVHRR (1 км). В то же время они имеют более широкий динамический диапазон, что может позволить, в частности, в перспективе использовать эти данные не только для регистрации пожаров, но и для оценок различных характеристик их интенсивности. Наличие же у данного прибора каналов в видимой области спектра с пространственным разрешением 250 и 500 м может позволить в перспективе создать методики более детальной оценки последствий действия лесных пожаров, чем применяющиеся сейчас методики, основанные на использовании данных километрового разрешения, поступающих с приборов AVHRR (спутники серии NOAA) и Vegetation (спутники серии SPOT) [6, 7, 8]. Данные прибора можно также использовать для решения других задач, связанных с мониторингом пожаров (оценка состояния и динамики облачности, анализ процессов распространения дымов и т. д.).

Отметим, что в различных зарубежных центрах приема и обработки данных MODIS (в основном центрах NASA) достаточно оперативно создаются более 50 стандартных продуктов по всей территории Земли. Доступ к этим продуктам пользователи могут получить по сети Интернет. Один продукт (MOD14 [9]), разработанный Университетом Мэриленда, содержит информацию о тепловых аномалиях с подозрением на пожары. Продукт этот может предоставляться достаточно оперативно и использоваться в оперативных задачах ИСДМ МПР РФ. Для проведения работ по оценке последствий может использоваться серия продуктов, которые являются безоблачными композитами различных каналов.

Таким образом, часть информации, полученной по данным MODIS для системы мониторинга пожаров АЛО, может быть получена из зарубежных центров приема и обработки данных. Однако такая информация может иметь существенные для оперативных работ временные задержки. Так, как показал опыт использования этих данных в пожароопасном сезоне 2003 г., задержка в поступлении информации о подозрениях на пожары по территории России из центров обработки данных NASA в среднем составляет 4–6 ч. Поэтому для решения оперативных задач необходимо было организовать экспресс-обработку данных в интересах ИСДМ МПР РФ в российских центрах приема.

Основные задачи блока работы с данными MODIS

Исходя из основных задач системы мониторинга лесных пожаров (см., например, статью *Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Тащилин С.А.* «Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров» настоящего сборника), возможностей прибора MODIS, систем обработки и распространения данных, были сформулированы следующие основные задачи блока обработки, хранения и представления данных:

- автоматизированная обработка данных в интересах ИСДМ МПР РФ в российских центрах приема;
- обеспечение сбора данных из российских и зарубежных центров;
- обеспечение хранения данных;
- автоматизированное построение информационных продуктов;
- обеспечение автоматического распространения информационных продуктов и доступа к ним.

Разработка такого блока была проведена совместно специалистами ИКИ РАН и ИСЗФ СО РАН в 2003 г. Для разработки использовалась технология обработки спутниковых данных, описанная, в частности, в [10, 11]. В конце пожароопасного сезона блок был введен в опытную эксплуатацию. Ниже мы кратко опишем основные элементы этого блока.

Автоматизированная обработка данных в интересах ИСДМ МПР РФ в российских центрах приема

Блок автоматизированной обработки данных прибора MODIS создан на основе универсальной системы обработки спутниковых данных СМИС (базовая конфигурация этой системы описана в работе «Возможности построения автоматизированных систем обработки спутниковых данных на основе программного комплекса XV_SAT» настоящего сборника). В интересах системы мониторинга лесных пожаров была создана ее версия СМИС-П, которая с 2000 г. использовалась в центрах приема АЛО. В 2003 г. были проведены доработки СМИС-П и в нее были включены возможности обработки данных прибора MODIS. Общая схема обработки этих данных в комплексе СМИС-П представлена на рис. 1. В этом блоке реализована следующая процедура обработки данных.

Предварительная обработка данных прибора MODIS (TERRA и AQUA) выполняется по спецификации Группы MODIS Characterization support Team (Modis level 1b algorithm theoretical bases document ATBMOD-01) программным пакетом IMAPP версии 1.4 [13] и включает следующие стадии:

- *Распаковка данных из «сырого» потока уровня 0* (последовательность CCSDS пакетов). В процессе распаковки из входного потока вычитываются все данные приборов и необходимая телеметрическая информация об их текущем состоянии. Вся информация компонуется тематически и записывается в файл формата HDF (уровень 1a).

- *Географическая привязка данных прибора MODIS*. Для спутника TERRA используются данные о положении спутника, передаваемые в потоке информации. Для спутника AQUA положение спутника рассчитывается процедурой “GSFC GBAD processor” с использованием орбитальных данных двустрочного формата NORAD TLE и метки времени начала сканирования каждой строки, передаваемой в потоке информации. В результате создается дополнительно файл формата HDF, содержащий географические координаты точек скана километрового разрешения.

- *Калибровка данных прибора MODIS* происходит с использованием уточняемых периодически калибровочных таблиц и данных, снимаемых со специальных калибровочных мишеней, расположенных на борту. Для вычисления положения Луны и Солнца относительно спутника также используется файл с географической привязкой.

После процедуры калибровки и получения данных уровня 1b создаются обзорные изображения сеанса в проекции на зону видимости приемной станции (в масштабе 6 км на точку) и создается файл аннотации для занесения данных в каталог. Обзорные изображения дневных съемок синтезируются с использованием данных видимых каналов. Для ночных и дневных съемок обзорное изображение создается из данных 31-го канала.

Тематическая обработка данных прибора MODIS включает детектирование точек подозрения на пожары и построение изображений для визуального анализа облачности, дымов и свежих гарей. Детектирование пожаров по данным прибора MODIS основано на алгоритме, разработанном в Университете Мэриленда (MOD14 [9]). Входными данными являются HDF-файлы уровня 1b с данными прибора MODIS километрового разрешения и данными о географической привязке. После обработки создается HDF-файл с географическими координатами детектированных точек и дополнительной информацией, содержащей размеры точки на поверхности Земли, зарегистрированную температуру, коэффициент достоверности.

Информация о детектированных точках поступает в базу данных (БД) «горячих точек» и в дальнейшую обработку вместе с данными MODIS для создания по регионам наблюдения изображений поверхности в картографической проекции и растровых слоев с нанесенными пожарами.

- Для ночных данных создаются черно-белые изображения из данных 31-го канала с автоматической нормализацией. Используется только проекция масштаба 1 км на точку.

Данные продукты поступают в БД продуктов обработки спутниковых данных и становятся доступны на информационных серверах АЛО (<<http://www.nffc.aviales.ru>>), они также могут использоваться в обновленной версии ГИС АЛО [14].

Отметим, что в комплексе также предполагается реализовать процедуру ручной коррекции данных. Для операторов комплекса предоставлена возможность просмотра всех выделенных точек совместно с информацией различных спектральных каналов для оценки качества детектирования и проведения ручной коррекции. Результаты коррекции автоматически заносятся в БД. Кроме этого БД «горячих точек» рассчитана на поступление данных, прошедших обработку в центре университета Мэриленд. Это позволяет в течение суток накопить в БД центра обработки данных все детектированные точки, полученные по данным MODIS с обоих спутников — TERRA и AQUA. На основе этих данных в БД создаются суточные продукты (накопленные за сутки подозрения на пожары и «накопленные гари», т. е. накопленные обнаруженные с начала сезона точки подозрений на пожары).

Модифицированный комплекс СМИС-П в 2003 г. введен эксплуатацию в:

- НИЦ «Планета» (г. Москва);
- Дальневосточном региональном центре приема и обработки спутниковых данных (г. Хабаровск).

Для организации поступления в систему оперативной информации о Центральной Сибири в 2004 г. комплекс СМИС-П установлен в Западносибирском региональном центре приема и обработки спутниковых данных (г. Новосибирск) и в центре приема ИЛ СО РАН (г. Красноярск).

Обеспечения сбора данных из российских и зарубежных центров

В настоящий момент в системе организована схема сбора данных следующих типов:

- Данные о подозрениях на действующие лесные пожары имеют небольшой объем, поэтому для них организована автоматическая система сбора из российских и зарубежных центров. Данные собираются в единую БД в центре АЛО (г. Пушкино). Отсюда они могут рассылаться в территориальные центры. В центре АЛО также организована автоматическая процедура формирования суточных продуктов на всю территорию России.

- Региональные продукты (спутниковые изображения для регионов наблюдения) формируемые в центрах приема, имеют достаточно большой объем, поэтому они не собираются в единую БД. Доступ к ним пользователей может осуществляться непосредственно в центрах приема. Часть этих данных может также автоматически передаваться непосредственно из центров приема в региональные центры АЛО.

- Для обеспечения работ по ведению архивов данных, необходимых для оценки последствий действия лесных пожаров, создается система получения композитных изображений из зарубежных центров. На основе получаемых данных автоматически формируются архивы данных. Прототип такой системы создан и находится в опытной эксплуатации в ИКИ РАН.

Отметим, что все схемы оперативного обмена данными работают в системе в полностью автоматическом режиме.

Обеспечение хранения данных

Для хранения данных прибора MODIS и результатов их обработки в системе организованы БД «горячих точек» и архивы результатов обработки. В центре АЛО сформирована

единая БД «горячих точек», из которой информация может распространяться в региональные центры. На основе БД формируются также суточные продукты, которые становятся доступны пользователям через систему информационных серверов АЛО. К БД АЛО может также непосредственно обращаться ГИС АЛО. Архивы результатов обработки построены на основе технологии, описанной в [11, 15]. Поскольку эти архивы имеют достаточно большой объем, то они построены как распределенные. Основные объемы их данных находятся в центрах обработки и на них имеются ссылки с информационных серверов. Часть этих данных может переноситься (в основном по специальным запросам) на информационные серверы АЛО. В то же время БД с каталогами архивов имеют гораздо меньший объем, поэтому они могут автоматически обновляться и быть доступны пользователям на информационных серверах АЛО (<http://www.nffc.aviales.ru>).

Автоматизированное построение информационных продуктов

На основе данных прибора MODIS автоматически формируются различные информационные слои. В системе используются следующие виды информационных слоев:

- Статические слои (в основном это картографические слои, которые сформированы для системы и меняются эпизодически по мере обнаружения ошибок или добавления нового слоя).
- Суточные слои, которые автоматически формируются каждые сутки и содержат информацию о горимости лесов на предыдущие сутки (на этих слоях отображается информация, интегрированная за сутки).
- Оперативные слои, которые формируются по мере пролетов спутников в зонах видимости станции приема (на этих слоях отображается информация, не интегрированная на определенный момент времени).

Два первых вида информационных слоев формируются в центре АЛО и автоматически размещаются на ее информационных серверах. Второй тип слоев может также формироваться и в центрах приема. Третий тип слоев строится только в центрах приема спутниковых данных или в крупных информационных узлах АЛО (например, в региональных лесопожарных центрах). Информационные слои формируются как для территории всей России, так и для отдельных регионов (схема размещения стандартных регионов АЛО представлена на рис. 2). Для территории всей России в системе формируются в основном статические и суточные слои, а также обнуляемые несколько раз в день карты склейки изображений облачности. Для отдельных регионов формируются все виды слоев. Суточные слои и слои, сформированные на основе БД «горячих точек», используются в системе для предоставления пользователям информации через систему динамических интерфейсов на информационных серверах АЛО. Для других информационных слоев организована также работа в ГИС АЛО.

В настоящий момент в системе используются следующие статические слои:

- карта растительного покрова, построенная на основе данных прибора VEGETATION, установленного на спутнике SPOT-5;
- карта с названиями городов и границами регионов (для территории всей России);
- карта с населенными пунктами и границами областей;
- карта с названиями крупных населенных пунктов и границами областей;
- карта с названиями средних населенных пунктов;
- карта с названиями мелких населенных пунктов;
- карта с дорожной сетью;
- карта с изолиниями рельефа;
- карта с гидрологической сетью.

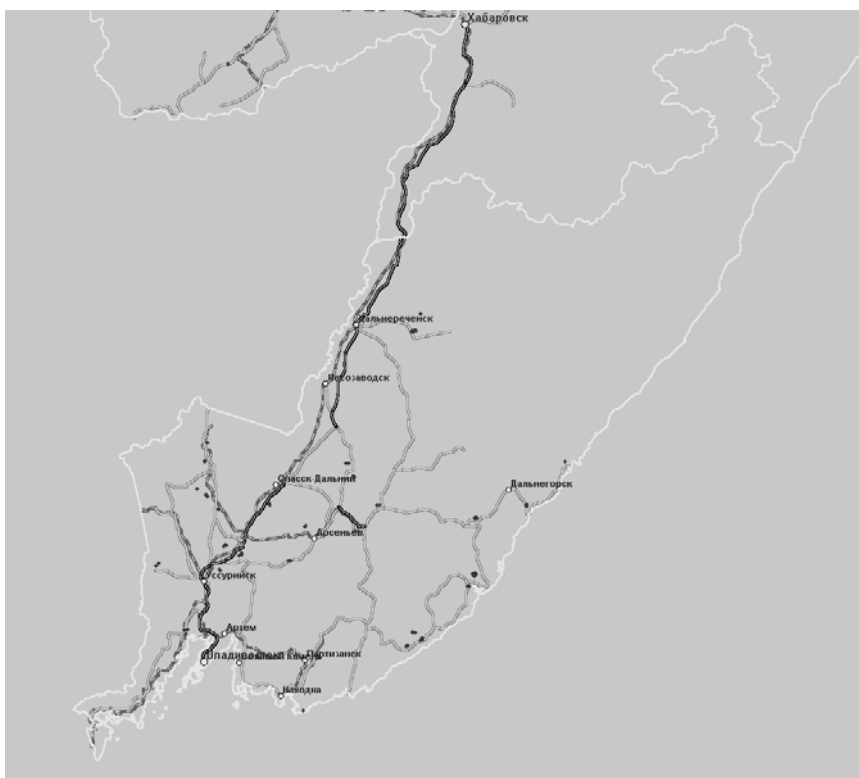


Рис. 3а. Пример информационного оперативного продукта (точки подозрений на пожары наложены на слой административного деления и дорог)

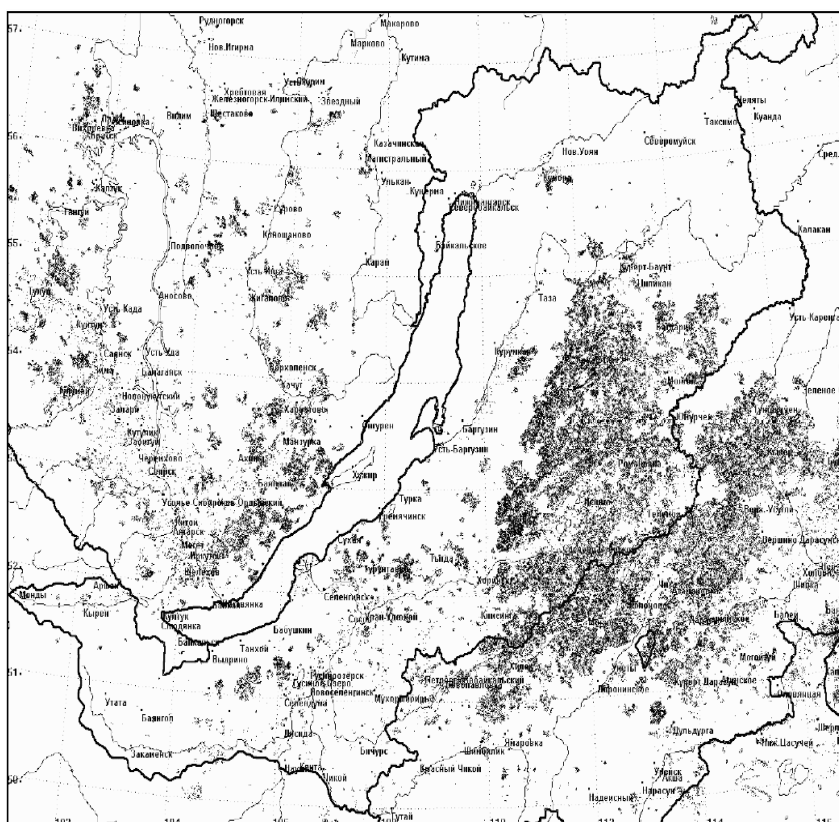


Рис. 3б. Пример суточного продукта. Изображение точек с подозрениями на пожары, накопленных с начала пожароопасного сезона. На рисунке данный слой наложен на карту

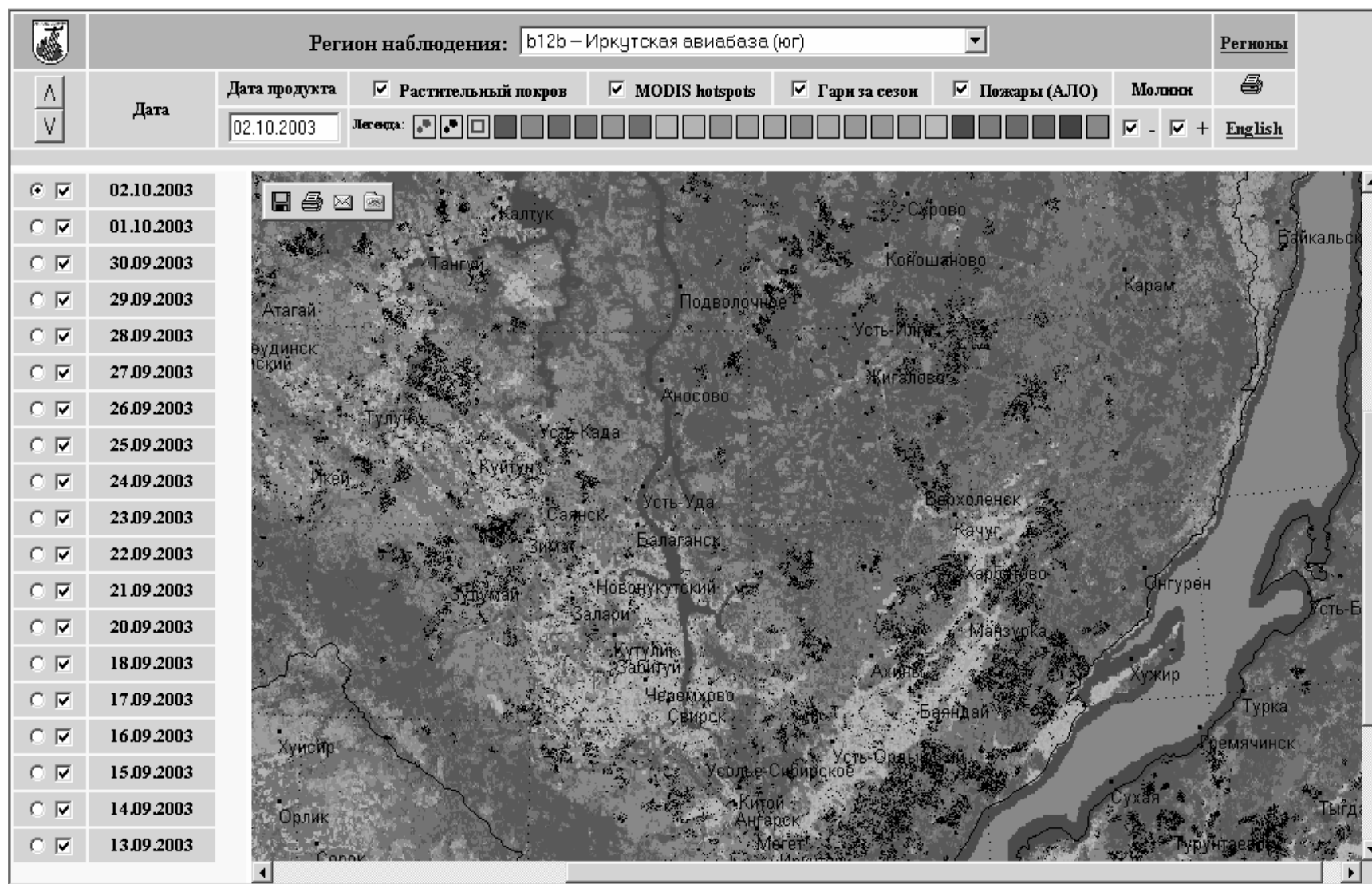


Рис. 4. Пример интерфейса для работы с «суточными» продуктами. На сформированной карте на фоне слоя с растительным покровом представлены точки с подозрениями на пожары, накопленные с начала пожароопасного сезона

По данным прибора MODIS в системе строятся следующие суточные слои:

- карта с обнаруженными за сутки подозрениями на лесные пожары, полученными по данным спутников TERRA и AQUA;
- карта со всеми нанесенными точками подозрений на лесные пожары с начала сезона до фиксированной даты

По данным прибора MODIS в системе также строятся следующие оперативные слои:

- карта с точками подозрений на лесные пожары на пролете спутников TERRA и AQUA;
- синтезированное изображение с разрешением 1 км на точку;
- маска облачности с разрешением 1 км на точку;
- синтезированное изображение с разрешением 250 м на точку.

Примеры информационных продуктов, получаемых с использованием различных статических и оперативных слоев, приведены на рис. 3.

Обеспечение автоматического распространения информационных продуктов и доступа к ним

Для работы с формируемыми в системе информационными слоями и создания на их основе информационных продуктов для пользователей ИСДМ МПР РФ созданы специализированные Web-интерфейсы, позволяющие формировать удобный для анализа информационный продукт на основе нескольких информационных слоев. Эти интерфейсы также позволяют выбирать данные по времени и дате и быстро пролистывать последовательность различных изображений для анализа их динамики. Интерфейсы также позволяют подготовить для созданного пользователем информационного продукта его версию для печати в формате *.ps, а также статических изображений — в стандартных графических форматах. Подготовленная версия может быть распечатана или сохранена пользователем. Доступ к интерфейсам осуществляется через систему информационных серверов АЛО. Пример интерфейса, предназначенного для работы с различными типами слоев, приведен на рис. 4.

В заключение отметим, что, хотя блок работы с данными прибора MODIS в системе мониторинга лесных пожаров на территории России уже находится в опытной эксплуатации и в 2003 г. использовался в работах АЛО, он находится в стадии достаточно быстрого развития и модификации. В 2004 г. будет продолжено его развитие и созданы дополнительные элементы как по сбору данных, так и по их обработке. Это развитие в первую очередь будет направлено на расширение зоны покрытия российских центров приема и обработки данных, а также модификацию системы обработки данных для создания дополнительных информационных продуктов.

Литература

1. Коровин Г.Н., Андреев Н.А. Авиационная охрана лесов. М.: Агропромиздат, 1988. 220 с.
2. Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов Д.В., Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Минько Н.П., Назиров Р.Р., Семенов С.М., Тацилин С.А., Флитман Е.В., Щетинский В.Е. Опыт и перспективы организации оперативного спутникового мониторинга территории России в целях службы пожароохраны лесов // Исслед. Земли из космоса. 1998. № 3. С. 89-95.
3. Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов В.В., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Лупян Е.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Минько Н.П., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В. Система сбора, обработки и доставки спутниковых данных для

решения оперативных задач службы пожароохраны лесов России // Научные технологии. 2000. Т. 1. № 2. С. 4–18.

4. *Kidwell K.B.* NOAA polar data user's guide: NOAA NESDIS, NCDC. 1988. 148 p.

5. *Barnes W.L., Pagano T.S., Salomonson V.V.* Prelaunch characteristics of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on EOS-AM1 // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1998. V. 36. N 4. P. 1088-1100.

6. *Лузян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В., Еришов Д.В., Коровин Г.Н., Новик В.П., Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Кошелев В.В., Тацилин С.А., Татарников А.В., Сухинин А.И., Пономарев Е.И., Гришин А.М., Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Матвиенко Г.Г., Соловьев В.С., Антонов В.Н., Ткаченко В.А.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы. Аналит. обзор / ИОА; ГПНТБ СО РАН. Сер. Экология. Вып. 68. Новосибирск, 2003.

7. *Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Мазуров А.А., Минько Н.П.* Оценка площадей крупных лесных пожаров по данным AVHRR NOAA // Исслед. Земли из космоса. 2000. № 2. С. 87–93.

8. *Барталев С.А., Белвард А.С., Еришов Д.В.* Новая карта типов земного покрова бореальных систем Евразии по данным SPOT 4-VEGETATION // Аэрокосмич. методы и геоинформ. технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Докл. 3-й Всерос. конф., посвящ. памяти Г.Г. Самойловича. Москва, 18-19 апреля 2002. С. 30–34.

9. *Bobbe T., Descloitres J., Finco M., Giglio L., Justice C., Sohlberg R., Townshend J.* MODIS Land Rapid Response System: implementation with USDA Forest Service and implications for active fire detection and land cover change products from future moderate resolution sensors. NPOESS MAXI Review 2002, Silver Spring, MD.

10. *Zakharov M.Yu., Loupian E.A., Mazurov A.A., Nazirov R.R., Flitman E.V.* Evelopment of Fully Automated Systems for Satellite Data Acquisition with Remote Control over the Internet // Proc. 2^d Intern. Symp. on "Reducing the Cost of Spacecraft Ground Systems and Operations". 1997. RAL Keble College, Oxford. P. 76.1–76.10.

11. *Захаров М.Ю., Лузян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В.* Гибкая система модификации программного обеспечения для обработки спутниковых изображений // Исслед. Земли из космоса. 1994. № 1. С. 48-53.

12. *Лузян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Универсальная технология построения систем хранения спутниковых данных. М.: ИКИ РАН. Препринт Пр-2024. 2000. 22 с.

13. International MODIS AIRS Processing Package (IMAPP) September 18, 2003: AQUA TERRA Science Product Release v1.4 <<http://cimss.ssec.wisc.edu/~gumley/IMAPP/IMAPP.html#Revisions>>

14. *Барталев С.А., Беляев А.И., Еришов В.В., Зукерт Н.В., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Лузян Е.А., Рыбникова Л.А., Сурикова Е.П., Шуляк П.П.* Разработка ГИС мониторинга лесных пожаров в России на основе ARCVIEW GIS 3.0 и глобальной сети INTERNET ARCREVIEW // Современ. геоинформ. технологии. 1998. № 1(4). С. 6, 7.

15. *Андреев М.В., Ефремов В.Ю., Гостев М.В., Дмитриев Г.А., Лузян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Система оперативного удаленного доступа к архивам данных российских природоресурсных спутниковых систем. М.: ИКИ РАН. Препринт Пр-2055. 2002. 42 с.