

Автоматизированная система спутникового мониторинга пожарной обстановки в технологических коридорах трубопроводов и лесах ХМАО

В.М. Брыксин, А.В. Евтюшкин, А.В. Еремеев, М.А. Макеева, В.А. Хамедов*

Югорский НИИ информационных технологий (ЮНИИ ИТ)
628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Мура, 151

Поступила в редакцию 2.10.2008 г.

Рассматривается автоматизированная информационная система оперативного оповещения о пожарной обстановке в технологических коридорах магистральных нефтепроводов и лесах Ханты-Мансийского автономного округа. Информация для конечных пользователей предоставляется по электронной почте в виде крупномасштабных картосхем, удобных для принятия решений и оперативной работы. Разработано модульное программное обеспечение для тематической обработки космоснимков в среде IDL на суперкомпьютере SUN FIRE 15K. Публикация детектированных по космоснимкам MODIS и AVHRR пикселей огня на WEB-сайте позволяет отображать динамику развития пожаров для широкого круга пользователей.

Ключевые слова: Дистанционное зондирование Земли, MODIS, AVHRR, SHR, KML, IDL, суперкомпьютер SUN FIRE 15K.

Космические методы контроля пожарной обстановки в лесных экосистемах успешно развиваются на протяжении последних десятилетий. Развитие средств вычислительной техники, сети Интернет и высокоскоростных каналов связи позволило повысить оперативность обработки данных дистанционного зондирования Земли и предоставило возможность оперативной передачи тематической информации широкому кругу пользователей. Данные тепловых сканеров MODIS и AVHRR со спутников TERRA, AQUA и NOAA широко используются по раннему обнаружению пожаров на больших территориях [1, 2]. Для оперативной передачи информации организациям, занимающимся тушением пожаров на лесных площадках и техногенных объектах, необходимо существенно сократить время тематической обработки исходных космоснимков. Задача определения принадлежности «горячего» пикселя огня исследуемой территории хорошо формализуется, и возможна полная автоматизация процесса без участия оператора.

Предварительная обработка данных ДЗЗ

С 2004 г. в ЮНИИ ИТ разрабатывается информационная система оперативного оповещения о пожарной обстановке на территории Ханты-Мансийско-

го автономного округа для таких потребителей, как нефтяные компании и государственные природоохранные службы [3, 4]. Площадь земель лесного фонда ХМАО составляет 48,4 млн га. В основном это труднодоступные малонаселенные территории с инфраструктурой нефтегазового комплекса. Оперативный мониторинг пожарной обстановки производится на основе космоснимков со спутников TERRA, AQUA/MODIS и NOAA/AVHRR, принимаемых в Центре ДЗЗ.

Разработанное сервисное программное обеспечение синхронизирует сбор данных с антенных приемных комплексов ТНА-9, «ОПТЭКС» и «СКАНЭКС-М», их передачу для обработки на суперкомпьютере SUN FIRE 15K и RAID-массив архивации. Автоматическая первичная обработка принятых изображений сканера MODIS в формате PDS выполняется в пакете IMAPP. Выходным продуктом пакета IMAPP являются изображения с разрешением 250, 500 и 1000 м, калиброванные в значения отраженного солнечного потока и радиояркостную температуру. Для детектирования очагов пожаров используется алгоритм MOD14 разработки NASA. Обработка космоснимков выполняется на суперкомпьютере SUN FIRE 15K в автоматическом режиме по мере поступления новых данных с приемных комплексов.

Прием информации со сканера AVHRR выполняется до 30 раз в сутки со спутников NOAA. При одновременном прохождении в зоне видимости двух спутников серии NOAA прием осуществляется различными антеннами. Обработка данных AVHRR выполняется в пакетном режиме на программном обеспечении ИКИ РАН, установленном в ЮНИИ ИТ (сервер АВИАЛЕСООХРАНА). Географические координаты детектированных пикселей огня для всего

* Виталий Михайлович Брыксин (bryksin@uriiit.ru); Аркадий Викторович Евтюшкин (avy@uriiit.ru); Андрей Владимирович Еремеев (eav@uriiit.ru); Марина Алексеевна Макеева (sma@uriiit.ru); Владимир Александрович Хамедов (havl@uriiit.ru).

витка сканера AVHRR сохраняются в виде SHP-файла и доступны в локальной сети ЮНИИ ИТ по протоколу TCP/IP.

Проверка детектированных по сенсорам MODIS и AVHRR пикселей огня принадлежности заданным контурам наблюдений выполняется в модульном пакете программ в среде WINDOWS. В качестве контуров для проверки используется технологический коридор магистрального трубопровода и границы авиаотделений. Выявленные очаги возгораний наносятся на шаблон картосхемы и сохраняются в формате GIF-файла для отправки по E-mail. Шаблоны картосхем с границами технологического коридора магистрального трубопровода и квартальной сеткой лесов построены для удобства печати бумажных копий в форматах А3 и А4 для принятия решений и оперативных полевых или авиационных работ.

С июня 2005 г. в Центре ДЗЗ ЮНИИ ИТ осуществляется регулярный прием всепогодных радарных изображений со спутника Европейского космического агентства ERS-2. Полоса захвата сканера SAR составляет 100 км, разрешение 12,5 м, интервал между полосами перекрытия 3 сут, период повторения подспутниковых трасс 35 сут, интервал повторения витков с перекрытием в половину кадра 17 сут. Разработано программное обеспечение на языке IDL для суперкомпьютера SUN FIRE 15K для пакетного трансформирования стандартных кадров размером 100×100 км в проекцию UTM и оперативного построения геопривязанных «квиклуков» разрешением 150 м.

Детектирование факелов по сжиганию попутного нефтяного газа

В январе–феврале 2006 г. сложились аномальные природные условия на севере Западной Сибири. Низкие температуры –40–55 °С и отсутствие облачности позволили выявить с помощью космических снимков в инфракрасном диапазоне практически все интенсивные тепловые источники на территории ХМАО и Ямало-Ненецкого автономного округа. К тепловым источникам относятся: ТЭЦ, ГРЭС, компрессорные станции на магистральных трубопроводах, факелы сжигания попутного газа на месторождениях нефти и газа. На некоторых снимках выделяются суммарные тепловые шлейфы от таких площадных объектов, как города и промплощадки с небольшими коммунальными котельными. Тепловые шлейфы на дневных витках дополнительно выделяются благодаря подсветке низкими лучами солнца.

Калибровка тепловых каналов сканера MODIS с длиной волны от 3,66 до 14,385 мкм в шкалу радиояркостной температуры позволила установить, что контраст между горящим газовым факелом и окружающей земной поверхностью составляет от 5 до 40 К. Превышение температуры в газовом шлейфе прослеживается на расстояниях от десятков до сотен километров. Так, представленные на рис. 1 тепловые шлейфы от горящих газовых факелов Приобского месторождения НК «Роснефть» вытянуты на 300 км в северо-западном направлении.

Размеры и конфигурация шлейфов связаны с мощностью выбросов и высотой труб. Шлейфы от компрессорных станций ОАО «Газпром», работающих на перекачиваемом газе, имеют конусообразную форму с углом до 30° и максимальной плотностью вблизи источника. Шлейфы от Сургутской и Излучинской ГРЭС, имеющие максимальную высоту труб, представлены узкими конусами с равномерной плотностью длиной до 200 км.

Анализ космоснимков MODIS за зимний период 2005–2006 гг. позволил установить координаты горящих газовых факелов по сжиганию попутного нефтяного газа на месторождениях ХМАО. Координаты факелов определялись по калиброванному в шкалу радиояркостной температуры 20-му каналу сканера MODIS. Также использовались координаты «горячих» точек, детектированных по алгоритму MOD14 при обработке зимних данных сканера MODIS в период с октября 2005 г. по апрель 2006 г. По снимку MODIS за 20.12.07 выявлены 32 новых газовых факела на вновь введенных в эксплуатацию или ранее разрабатываемых нефтяных месторождениях с увеличением добычи. Всего определены координаты 312 факелов, которые использованы для локализации ложных пикселей пожаров при оперативном мониторинге возгораний в лесах на территории ХМАО в пожароопасный период.

Информационная система оперативного оповещения о пожарах

В 2004–2008 гг. в пожароопасный период с мая по октябрь выполнялся ежедневный оперативный мониторинг магистрального нефтепровода ОАО «РИТЕКБелоярскнефть» – «Средний Хулым – НПС Красноленинская» протяженностью 650 км на основе космической съемки с разрешением 250/500/1000/1100 м. Реализован WEB-доступ (<http://dzz.igiiit.ru>) к пожарной обстановке по 18 авиаотделениям АВИАЛЕСООХРАНЫ ХМАО, природного парка «Сибирские увалы» и двум территориям с коридором магистрального трубопровода. Подготовлены неизменяемые слои картоосновы с квартальной сеткой лесов, населенными пунктами и дорожной сетью (рис. 2). Слои факельных установок по сжиганию попутного газа и пожары, выявленные по каждому космоснимку, включаются в интерактивном режиме пользователями.

Временной интервал от окончания приема космоснимка до отправки уведомления по E-mail составляет 20 мин для данных NOAA и 30 мин для данных MODIS, выставление космоснимка на WEB-сервер производится через 30–40 мин. Время обработки связано с размером принятого витка в зависимости от угла наклона орбиты спутника. Все разработанные сервисы по приему, тематической обработке, рассылке оповещений, генерации HTML-страниц реализованы в виде отдельных независимых друг от друга модулей. Для некоторых сервисов, например таких, как первичная обработка в пакете IMAPP и рассылка уведомлений, предусмотрено дублирование. Все программные модули работают

независимо друг от друга. Это обусловлено тем, что обработанные данные с одного витка поступают на модули рассылки уведомлений или для публикации на WEB-сайте в разное время. Расчет координат пикселей огня, построение SHP-файлов, подготовка картосхем, цветокомпозиционных космоснимков возможно проводить и при наличии сбоев в одном из элементов технологической цепи обработки на распределенных вычислительных ресурсах.

Визуальный анализ цветосинтезированных космоснимков конечными пользователями позволяет

выявить очаги пожаров, которые не детектируются автоматическими алгоритмами, основанными на превышении пороговых значений температуры в среднем инфракрасном канале сканеров MODIS и AVHRR. Для большинства пожаров, не обнаруживаемых автоматически, температура в «горящем» пикселе лежит в интервале дисперсии от уровня средних значений в соседних пикселях. Как правило, это низовые пожары в лесу или на поймах рек в весенний период с узким фронтом огня и наличием влажных горючих материалов при большой скорости ветра.

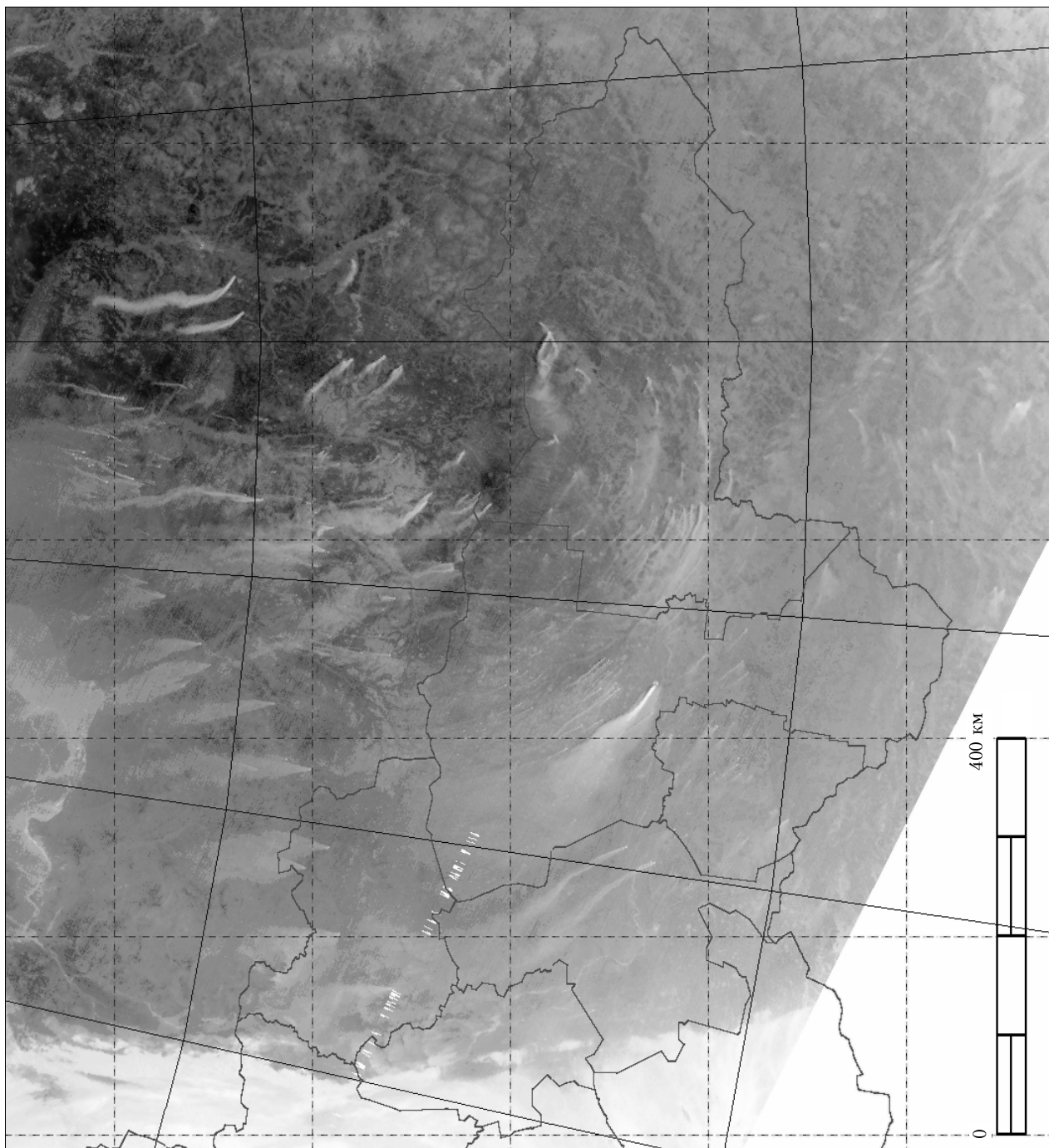


Рис. 1. Тепловые шлейфы на территории Западной Сибири от газовых факелов, ГРЭС и компрессорных станций. Съемка 12 января 2006 г. в 11 ч 45 мин местного времени сканером MODIS спутника TERRA

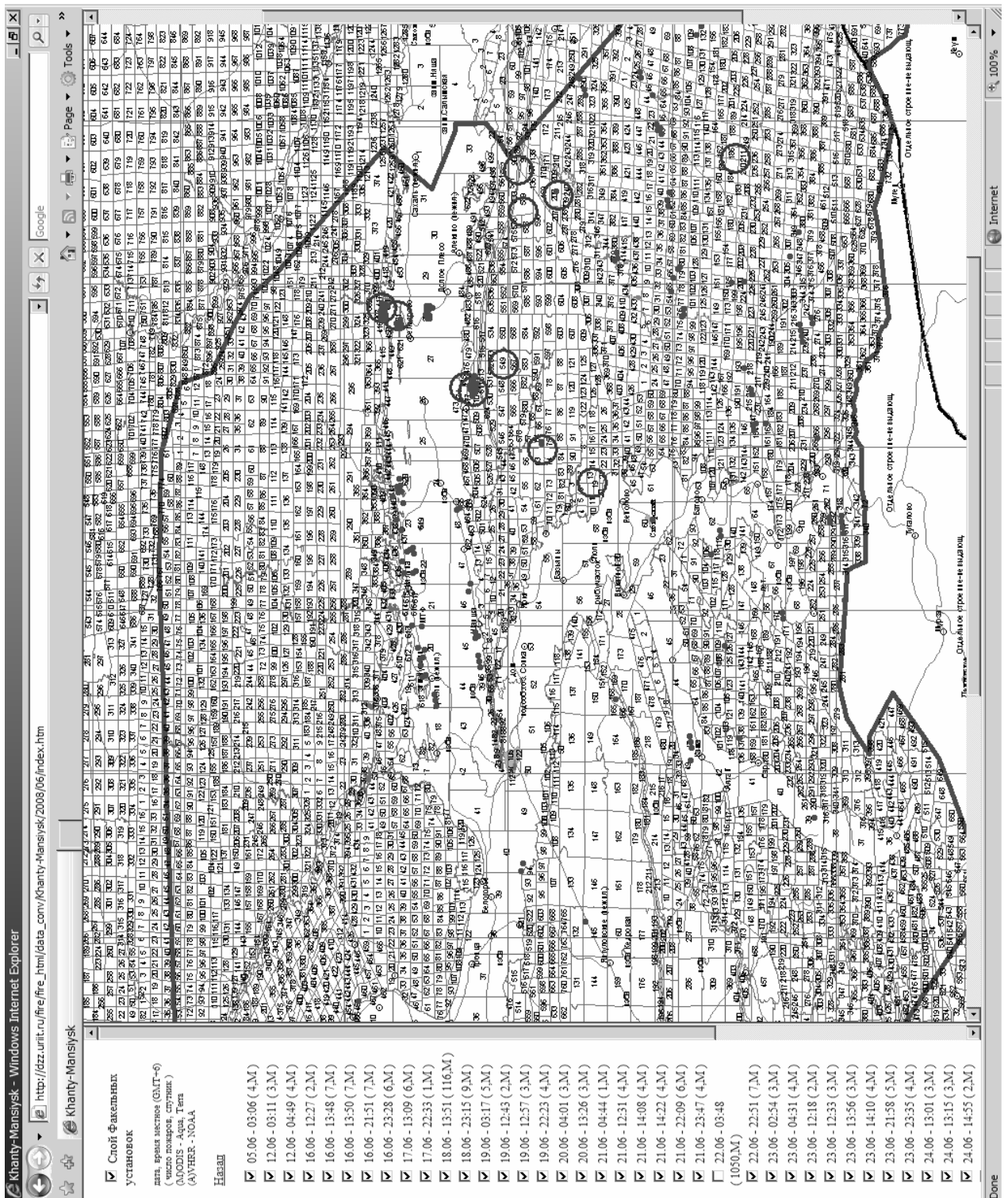


Рис. 2. Отображение пожарной обстановки в июне 2008 г. на квартальной сетке лесов по Ханты-Мансийскому авиаотделению

Разработан программный модуль формирования отчетности в формате Excel о пожарах, детектированных по космоснимкам MODIS и AVHRR. В векторном SHP-файле квартальной сетки лесов ХМАО в географической системе координат содержится атрибутивная информация для каждого квартала. Файл построен из полигонов различной формы. Каждому

полигону присвоен идентификатор в атрибутивной таблице. Для каждого детектированного по космоснимку пикселя огня выполняется поиск полигона в квартальной сетке лесов. Полученный номер идентификатора полигона дает возможность определить в таблице атрибутов номер квартала, лесхоз и лесничество для каждого полигона соответственно.

Посредством динамических библиотек, программным путем производится поиск номера квартала и считывание атрибутивной информации с последующим занесением ее в динамически формируемый файл в формате Excel. Структура формируемой таблицы содержит следующие поля: дата и время пожара, лесхоз, лесничество, номер квартала, географические координаты, авиаотделение. Это позволяет подробно описать место возникновения предполагаемого возгорания в общепринятых в лесном хозяйстве терминах, а также формировать отчетные и статистические данные о пожарах в разрезе декады, месяца, года по лесхозам или авиаотделениям. Для

оперативной работы также предусмотрено предоставление описанной выше информации в текстовом формате в поле электронного письма с разделением по авиаотделениям для каждого спутникового витка.

Реализован алгоритм перевода географических координат пожаров из текстового вида в файл формата KML, что позволяет выполнять последующий просмотр оперативной пожарной обстановки в программном комплексе Google Earth. Файл в формате KML также отправляется по E-mail конечным пользователям. При открытии файла из почтовой программы происходит автоматическая загрузка данных в программный комплекс Google Earth (рис. 3).



Рис. 3. E-mail уведомление об обнаруженных пожарах и просмотр KML-файла с очагами возгорания в Google Earth

При масштабировании окна просмотра очаги пожаров отображаются на фоне крупномасштабных космоснимков Q-Bird с разрешением до 0,6 м с визуализацией крон деревьев, просек и дорог. При дальнейшем развитии сервиса Google Earth, его наполнении новыми детальными космоснимками и крупномасштабными векторными картами, в том числе и данными пользователей, загружаемых с локальных рабочих мест, существенно повысится информативность отображения оперативной пожарной обстановки.

Анализ информативности разновременных радарных изображений ERS-2

Сравнительный анализ одиночных кадров ERS-2 показал, что менее достоверно участки леса с различными таксационными характеристиками разделяются на снимках, выполненных в августе. Этот эффект объясняется уменьшением значений интенсивности обратного рассеяния лиственных пород на РСА-изображениях в период достижения максимального листового индекса и наименьшей влажности листьев [5]. Пожары, детектированные по данным MODIS и AVHRR, совпадают с участками лесных гарей, выделяемых на разновременных снимках ERS-2.

Выделить границы гари на изображениях за каждую дату достаточно сложно. Цветовой синтез разновременных кадров позволяет визуально подчеркнуть контраст гари с несгоревшим лесом и достоверно дешифровать границы. Анализ космоснимков ERS-2 на территориях ХМАО с различным породным составом лесов позволил установить, что наибольший контраст гари с неповрежденным лесом наблюдается в первый месяц после пожара. Яркость новой гари на амплитудных изображениях ERS-2 больше яркости несгоревшего леса, а старые гари всегда темнее.

В связи с отсутствием на настоящий момент на территории ХМАО доступных космоснимков среднего разрешения в оптическом диапазоне, уточнение границ и площадей гарей возможно с использованием всепогодных изображений ERS-2 совместно с тепловыми изображениями с сенсоров низкого разрешения MODIS и AVHRR. Космоснимки в инфракрасном диапазоне позволяют круглосуточно детектировать «горячие» пиксели и определять их координаты с точностью 1–3 км, а данные ERS-2 – выделять гари размером менее 1 км².

V.M. Bryksin, A.V. Yevtyushkin, A.V. Yermeev, M.A. Makeeva, V.A. Khamedov. Automated system of satellite monitoring of fire conditions in technological corridors of pipelines and forests in KHMAO region.

The automated information system of the operative notification about fire conditions in technological corridors of the oil pipelines and forest in KHMAO region is considered. Information for end users is given by E-mail in the form of large-scale maps convenient for decision-making and operative work. The modular software is developed for thematic processing of space images in IDL software on supercomputer SUN FIRE 15K. The publication of fire pixels detected by MODIS and AVHRR space images on WEB-site allows to display dynamics of fires development to the broad audience of users.

Заключение

Общее число уведомлений, отправленных по электронной почте, об обнаруженных пожарах на территории ХМАО в различные годы составило: 2005 г. – 4800, 2006 г. – 2025, 2007 г. – 2607, 2008 г. – 1151. В формате SHP ведется архив координат пожаров за 2004–2008 гг., детектированных по данным сканеров AVHRR и MODIS. В дальнейшем это позволит выполнять уточнение границ, площадей гарей и горельников без значительного повреждения древостоя при низовых пожарах в границах кварталов с использованием архива детектированных пикселей огня на всю территорию Западной Сибири средствами ГИС для целей лесного хозяйства и лесопромышленного комплекса. Накопленные архивы обработанных космоснимков низкого и среднего пространственного разрешения, а также результатов их тематической обработки служат основой для анализа пространственно-временных трансформаций природных ландшафтов в условиях климатических изменений и усиливающегося антропогенного воздействия.

1. *Моисеев Е.Е., Ланухов С.А., Глушкова Н.В., Добрецов Н.Н.* Использование данных AVHRR и MODIS для решения мониторинговых задач в Новосибирской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. науч. статей. Т. II. М.: Полиграф сервис, 2004. С. 185–190.
2. *Байкалова Т.В., Евтюшкин А.В., Жилин С.И., Юшаков В.Н.* Мониторинг состояния земных покровов Алтая по данным ИСЗ «NOAA» // Изв. Алтайск. гос. ун-та. 1998. № 1. С. 49–52.
3. *Брыксин В.М., Евтюшкин А.В., Еремеев А.В.* Геоинформационная система оперативного оповещения о пожарах, выявленных по космоснимкам в коридорах трубопроводов и лесах ХМАО // Мат-лы III Научно-практ. конф. «Обратные задачи и информационные технологии рационального природопользования». 25–27 апреля 2006 г. Ханты-Мансийск; Екатеринбург: Средне-Уральск. кн. изд-во, 2006. С. 183–186.
4. *Evtuyshkin A.V.* Space monitoring of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra Territory // Enviro-RISKS: Man-induced Environmental Risks: Monitoring, Management and Remediation of Manmade Changes in Siberia. First-Year EC 6FP CA Enviro-RISKS Project Report: Overview and Progress Reports by Partners. ISSN: 1399-1949. Digital ISBN: 978-87-7478-550-7. Copenhagen. 2007. P. 69–72.
5. *Евтюшкин А.В., Комаров С.А., Лукьяненко Д.Н., Миронов В.Л.* Классификация земных покровов по радиолокационным изображениям // Оптика атмосф. и океана. 1997. Т. 10. № 12. С. 1508–1512.