

Е.А. Лупян<sup>1</sup>, А.А. Мазуров<sup>1</sup>, Д.В. Ершов<sup>2</sup>, Г.Н. Коровин<sup>2</sup>,  
Н.В. Королева<sup>2</sup>, Н.А. Абушенко<sup>3</sup>, С.А. Тащилин<sup>3</sup>, А.И. Сухинин<sup>4</sup>,  
С.В. Афонин<sup>5</sup>, В.В. Белов<sup>5,6</sup>, А.М. Гришин<sup>6</sup>, В.С. Соловьев<sup>7</sup>

## Спутниковый мониторинг лесов России

<sup>1</sup>Институт космических исследований РАН,

<sup>2</sup>Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

<sup>3</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

<sup>4</sup>Институт леса СО РАН, г. Красноярск

<sup>5</sup>Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

<sup>6</sup>Томский государственный университет

<sup>7</sup>Институт космофизических исследований и аэронауки СО РАН, г. Якутск

Поступила в редакцию 2.02.2007 г.

Рассмотрены основные результаты совместной деятельности академической, вузовской науки, государственных, ведомственных служб и коммерческих организаций в создании и развитии действующих в настоящее время спутниковых систем исследования и мониторинга лесов России.

### Введение

Лесные пожары остаются одним из мощных природных факторов, влияющих на происходящие на планете глобальные изменения окружающей среды. Следы этого катастрофического явления огромных масштабов можно найти на каждом континенте. К сожалению, достаточно часто реализуются ситуации, при которых все известные технологии борьбы с огнем не приносят результата и только сама природа в состоянии остановить вырвавшуюся из-под контроля человека огненную стихию. Хорошо известны своими катастрофическими последствиями пожары последних лет в России, США, Мексике, Австралии и т.д.

Основные причины подобных событий в том, что либо несвоевременно или не в достаточном объеме принимаются меры к тушению пожаров, либо они поздно обнаруживаются, когда стадия их развития такова, что не существует технологий и достаточных средств для их ликвидации.

Среди методов контроля состояния лесов, с точки зрения оперативного обнаружения пожаров на ранней стадии их развития, наряду с широко известными наземными системами наблюдения (визуальными, телевизионными и т.п.) и авиационным патрулированием в последние десятилетия практическое применение все более широко находят системы спутникового мониторинга.

Такие системы существуют и в России. Их можно разделить на два уровня — региональный и федеральный. Первые версии этих систем базировались на пятиканальных сканирующих радиометрах AVHRR, размещенных на спутниках NOAA (США). Характеристики этой спутниковой группировки и оптико-электронных приборов, созданных для решения ме-

теорологических задач, оказались приемлемыми для использования их в системах спутникового мониторинга лесных пожаров.

В настоящее время осуществляется переход на использование в системах изображений, формируемых оптико-электронными системами MODIS (спутники Terra и Aqua, NASA, США). Характеристики этого прибора позволяют решать более широкий круг исследовательских и мониторинговых задач. Это связано с лучшим пространственным разрешением в видимой области спектра и, что не менее важно, с существенно большим количеством спектральных каналов (36).

Если касаться истории возникновения этих систем, то отметим некоторые особенности их возникновения и развития. Материальной базой для их появления стали станции приема спутниковых данных, создаваемые независимой коммерческой компанией Инженерно-технологический центр «СканЭкс» (образован в 1989 г.). На территории России к настоящему времени развернуты и функционируют более 30 станций этой фирмы. На базе некоторых из них и формировались региональные, а затем ведомственные центры спутникового мониторинга лесов.

Подчеркнем, что этот процесс был инициирован при поддержке Международного института леса в основном учреждениями Российской академии наук. Прежде всего, это Институт космических исследований (ИКИ РАН), Институт солнечно-земной физики (ИСЗФ СО РАН), Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ РАН), Институт леса им. В.Н. Сукачева (ИЛ СО РАН), Институт космофизических исследований и аэронауки (ИКФИА СО РАН). Несколько позднее в этот процесс включились Институт оптики атмосферы (ИОА СО РАН) и другие институты. Очевидно, что практическая реализация

идеи спутникового мониторинга лесов России не могла быть осуществлена без поддержки региональных и федеральных лесных служб. На региональном уровне там, где эта поддержка была ощутимой, возникли современные центры оперативного мониторинга лесных территорий, решающие проблемы обнаружения (в том числе, раннего) лесных пожаров, оценки их последствий (например, площади лесов, пройденные огнем) и другие задачи.

## **Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства**

Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ) была создана кооперацией институтов Российской академии наук (прежде всего, ИКИ РАН, ЦЭПЛ РАН и ИСЗФ СО РАН) с Международным институтом леса, отраслевыми институтами Рослесхоза, Росгидромета. Ее функции значительно шире региональных систем, они выходят за рамки мониторинга лесных пожаров и охватывают ряд проблем лесного хозяйства страны, в решении которых могут быть использованы результаты инструментального наблюдения Земли из космоса. Работы по ее созданию и совершенствованию осуществляются с 1995 г. [1–6].

Система обеспечивает интеграцию информации, полученной в результате обработки спутниковых данных NOAA (затем Terra, Aqua), с другими источниками данных о текущей горимости лесов для принятия решений подразделениями Авиалесоохраны.

Задачи, которые в первую очередь решает эта система, следующие: получение спутниковых данных, их оперативная обработка, интеграция результатов обработки с информацией, полученной из других источников, и оперативное представление данных пользователям.

К системе изначально предъявлялись следующие основные требования, которые и определили ее архитектуру и базовые технологии:

- поступление в систему основного оперативного потока данных со спутников, позволяющих несколько раз в день гарантированно наблюдать всю территорию России, оперативное получение данных по всей территории России (т.е. информация должна собираться из нескольких центров приема и обработки спутниковых данных);

- обеспечение требуемой оперативности сбора, обработки и доставки данных конечным пользователям;

- совмещение поступающих в систему данных и результатов их обработки с результатами авиационных и наземных наблюдений;

- возможность оперативного получения результатов обработки спутниковой информации как для Центральной базы авиационной охраны лесов России, так и для региональных баз и других заинтересованных служб и ведомств;

- устойчивость и независимость реализованных в системе процедур обработки и анализа данных от условий и районов наблюдений;

- гибкость и удобные возможности ее модификации и расширения;

- низкая стоимость ее эксплуатации.

На рис. 1 приведена схема приема, обработки и распространения данных в системе ИСДМ.

Работы по созданию и опытной эксплуатации базовых элементов системы были проведены в основном в пожароопасные сезоны 2004 и 2005 гг. Условно можно определить три основных направления, по которым в это время проводились развитие и доработка ИСДМ:

- «организационное» – создание правил и организационных основ для работы системы;

- «технологическое» – создание технических и технологических элементов, обеспечивающих оперативное представление информации, необходимой для принятия управленческих решений и оценки последствий действия лесных пожаров;

- «методическое» – создание и развитие методик обработки, анализа и использования различных данных.

Во многом именно решение *организационных* задач позволило подготовить и ввести основные элементы ИСДМ в *промышленную эксплуатацию*. Отметим среди них следующие: разработку и утверждение регламента работы ИСДМ, коррекцию списков территорий с различным уровнем охраны (неохраняемые территории были определены как зоны «космического мониторинга первого уровня», а охраняемые разделены на зону космического мониторинга второго уровня и зоны наземной и авиационной охраны) и разработку правил формирования отчетных форм на основе данных спутникового мониторинга.

Работы в *технологическом направлении* были ориентированы на совершенствование отдельных элементов ИСДМ. К наиболее существенным результатам технических и технологических разработок следует отнести расширение источников информации, используемых в системе. Так, в перечень центров приема, работающих в интересах ИСДМ, был включен дополнительный центр приема и обработки спутниковых данных в г. Ханты-Мансийске. Данный центр входит в состав Югорского научно-исследовательского института информационных технологий [7]. В рамках развития ИСДМ введены в эксплуатацию дополнительные станции регистрации молниевых разрядов, что существенно расширило возможность контроля их влияния на лесные пожары.

Важным элементом системы ИСДМ стала *подсистема автоматической генерации отчетных форм*. Достаточно подробное описание ее возможностей и структуры можно найти в [8]. В настоящее время она обеспечивает ведение специализированных баз данных, что позволяет осуществлять сопоставление спутниковой и картографической информации. Кроме того, она автоматизирует генерацию различных отчетных форм по запросам пользователей. Доступ к информации обеспечивается через систему

информационных серверов ИСДМ и специализированные ГИС федерального и регионального уровня [1, 2]. Следует особо отметить, что в настоящее время система работает в полностью автоматическом режиме.

Основной задачей *развития информационных серверов* является обеспечение оперативного удаленного доступа к данным ИСДМ (<http://www.nffc.aviales.ru/rus/main.sht>). Функциональные возможности данной системы описаны в [9].

*Создание системы оперативной оценки площадей, пройденных огнем, на основе данных SPOT VGT.* До 2005 г. система оценки последствий действия лесных пожаров, по данным SPOT VGT, была рассчитана на работу с данными, поступающими в конце пожароопасного сезона [10]. В 2005 г. была создана и проходила опытную эксплуатацию система оперативного получения данных SPOT VGT из архивов компании VITO [11], их обработки и интеграции в информационные блоки. Это позволило обеспечить пользователей ИСДМ информацией о площадях, пройденных огнем, полученной на основе данных о повреждении растительного покрова уже в течение пожароопасного сезона.

Из работ, которые наиболее активно проводились в *методическом направлении* развития ИСДМ в 2005–2006 гг., следует выделить *создание методов оценки повреждений лесного покрова на площадях, пройденных огнем, на основе спутниковых данных.* Решение этой задачи необходимо как для оценок изменений, происходящих в лесном фонде, так и для оценок выбросов углерода, проведение которых должно в перспективе обеспечить подготовку отчетности, связанной с Киотским протоколом. Оценка повреждений лесов пожарами ориентирована в основном на использование данных SPOT VGT. Ее возможности и перспективы развития приведены в [12].

Кроме методик, перечисленных в ИСДМ, осуществляется *разработка методик совместного анализа спутниковых данных, данных наземных и авиационных наблюдений* (что важно для валидации конкурирующих алгоритмов обнаружения лесных пожаров из космоса [13]).

## Региональные системы оперативного мониторинга лесов из космоса

Роль региональных систем оперативного мониторинга лесов из космоса состоит не только в осуществлении этой функции на ограниченных территориях, но и в совершенствовании и в разработке новых информационно-алгоритмических средств тематической обработки спутниковых изображений, в валидации, в сравнении конкурирующих алгоритмов анализа спутниковых данных, в создании новых методов прогноза пожарной опасности и моделей развития пожаров и т.д. То есть эти центры в России можно рассматривать и как полигоны для развития традиционных и реализации новых подходов, методов, идей эффективного использования спутниковых наблюдений в интересах рационального природопользования.

Это стало возможно потому, что некоторые из них созданы на базе институтов Российской академии наук (или при их участии), в которых те или иные аспекты, связанные с окружающей средой или с ее дистанционным зондированием, являются направлениями их научных исследований. Среди этих институтов назовем ИЛ, ИОА, ИКФИА, ИСЗФ. Каждый из этих центров специализируется на поиске решений конкретных задач, близких к тематике научных исследований базового института. Центры в Иркутске и Якутске основные усилия направляют на разработку ГИС и на поиск эффективных алгоритмов тематической обработки спутниковых данных с учетом климатических и географических особенностей своих регионов. Основные результаты их деятельности описаны в [4]. В дополнение к работе [4] приведем результаты, полученные в 2006, 2007 гг. в Институте леса им. В.Н. Сукачева и в Институте оптики атмосферы.

Красноярская система космического мониторинга бореальной зоны лесов Сибири развивается с 1994 г., с момента установки в ИЛ СО РАН станции приема и обработки информации с полярно-орбитальных ИСЗ серии NOAA, в соответствии с соглашением NASA и РАН для выполнения совместных работ. Созданная на базе этой станции ГИС по своим функциональным возможностям отличается от других действующих в России систем мониторинга лесных пожаров тем, что в ее состав уже несколько лет входит подсистема оценки и прогноза пожарной опасности.

Показатель пожарной опасности характеризует готовность лесных горючих материалов (ЛГМ) к воспламенению и поддержанию горения. Определяющим фактором является влагосодержание ЛГМ. В России используется показатель пожарной опасности, разработанный В.Г. Нестеровым и усовершенствованный затем в ЛенНИИЛХ [14]. В ИЛ СО РАН создается методика оперативной оценки этого показателя с использованием спутниковых данных (приборная группа TOVS, спутники NOAA) [15].

Пока остается открытым вопрос о выборе наиболее адекватного из существующих методов оценки уровня пожарной опасности или вероятности возникновения лесных пожаров. Поэтому важно сравнить на одних и тех же исходных данных российский показатель с конкурирующими, оценить его эффективность, учитывая, что предлагаются другие теоретически более обоснованные подходы к оценке риска возникновения пожаров (например, [16]). Пример такого сравнения дан на рис. 2, где приведены значения канадского (DMC/CFFDRS) и российского (ПВ-1) индексов пожарной опасности, рассчитанных по измерениям на двух метеостанциях в Красноярском крае.

В целом результаты расчетов по данным пяти метеостанций показали высокую корреляцию между этими индексами. В ряде случаев коэффициенты корреляции близки к 1. Отметим, что наиболее подобен российскому индексу ПВ-1 соответствующий индекс канадской системы DMC (Duff Moisture Code), который показывает степень готовности к воспламенению и поддержанию горения в слое подстилки.

Однако следует отметить меньшую чувствительность канадского индекса к количеству выпавших осадков, особенно при низких значениях этой величины в диапазоне 0,5–5 мм. В ряде случаев (особенно в условиях долгого периода предварительной сушки) такой подход оправдан, так как не приводит к резкому снижению показателя пожарной опасности при повышении количества выпавших осадков в этом диапазоне. В отличие от канадского на графиках, представляющих российскую систему оценки пожарной опасности ПВ-1, в соответствующие сроки наблюдений присутствуют более резкие минимумы.

В последнее время в ИЛ СО РАН ведется поиск подходов, методов и конкретных алгоритмических средств для дистанционной количественной оценки последствий лесных пожаров. Некоторые результаты этих исследований описаны в [17].

В ИОА СО РАН основное направление исследований, связанное с развитием систем спутникового мониторинга, состоит в создании технологий оперативной атмосферной коррекции данных пассивного зондирования земной поверхности в оптическом диапазоне длин волн. На первом этапе эти работы велись в приложении к проблеме раннего обнаружения малоразмерных очагов пожаров [13, 18]. В настоящее время в рамках Государственного контракта № МГ-02.06/23К создается для ИСДМ технология оперативной атмосферной коррекции для шести спектральных диапазонов прибора MODIS.

Одним из физических явлений, снижающих эффективность применения пассивных спутниковых методов решения задач зондирования характеристик земной поверхности, являются солнечные блики, возникающие на водных поверхностях (что физически несложно объяснить), на аэрозольных образованиях в атмосфере [13] и на границах облаков. Выяснение условий и причин их возникновения на облачных системах стало ближайшей целью исследований в ИОА СО РАН.

Для иллюстрации некоторых результатов исследований на рис. 3, 4 представлены данные анализа спутникового изображения Томской области, полученного со спутника NOAA-14 с помощью прибора AVHRR. Для изучения бликов, возникающих на краевых областях облаков, был выбран участок с географическими координатами 59–61° с.ш. и 80–86° в.д., на котором можно обнаружить значительное количество высокотемпературных аномалий. Кроме того, на выбранном участке изображения можно выделить как безоблачные участки подстилающей поверхности, так и облачность разных типов.

Из данных на рис. 3 следует, что наиболее высокие значения радиационной температуры  $T_3$  ( $> 305$  К) реализуются, главным образом, в диапазоне значений альбедо  $A_1 = 15$ –35%, что в данном случае соответствует облачности, имеющей относительно малую оптическую плотность.

Анализ данных, приведенных на рис. 4, позволяет легко выделить края облаков, которые имеют значения  $A_1$  в диапазоне 10–30%. Сравнивая пространственные структуры  $A_1$  и  $T_3$ , можно убедиться, что высокие значения  $T_3$  (более 300–305 К) действительно попадают на края облаков нижнего

яруса. При этом значения  $T_3$  более высокой облачности не превышают 270 К, а температура  $T_3$  на краях облаков лежит в диапазоне 275–280 К. Отметим, что температура  $T_3$  безоблачных участков суши составляет примерно  $(293 \pm 3)$  К.

На практике широко применяются пороговые методы фильтрации бликов на краевых участках облаков [19]. Анализ эффективности этих алгоритмов, выполненный в ИОА, дает основание предположить, что применение физического подхода (т.е. выяснение причин и условий возникновения этого явления) к решению проблемы идентификации солнечных бликов позволит сделать их детектирование более надежным по сравнению с используемыми в настоящее время методами их подавления.

## Заключение

Таким образом, в сравнительно короткий срок, в не самых благоприятных для России экономических условиях усилиями институтов Российской академии наук совместно с Международным институтом леса, отраслевыми институтами Рослесхоза, Росгидромета созданы и функционируют информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства и региональные системы мониторинга лесных территорий из космоса. Признанием высокого уровня этих работ может служить то, что с 2006 г. спутниковые данные о лесных пожарах включаются в официальные отчетные документы лесоохранных служб наряду с данными наземных и авиационных наблюдений.

Завершая обзор состава и состояния систем мониторинга лесов из космоса, отметим, что для повышения их эффективности основные усилия фундаментальных и прикладных исследований, с нашей точки зрения, должны быть направлены на решение следующих задач:

- развитие алгоритмов детектирования пожаров для уменьшения числа пропусков пожаров и устранения ложных тревог;
- совершенствование алгоритмов оценки площадей, пройденных огнем, и оценки последствий пожаров;
- создание информационно-алгоритмических средств оперативной оценки пожарной опасности с использованием спутниковых данных;
- развитие системы сопоставления данных, полученных с помощью наземных, авиационных и спутниковых наблюдений;
- создание блоков прогноза развития пожаров.

В заключение отметим, что отдельные технологические элементы системы ИСДМ и региональных систем мониторинга создавались на основе решений, разработанных в рамках проектов РФФИ № 05-07-08014, 01-05-65494, 04-07-90018-в, при выполнении программы «Информационно-телекоммуникационные ресурсы СО РАН» и при использовании оборудования Центра коллективного пользования ИОА СО РАН.

1. Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Тацлин С.А. Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дис-

- танционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений): Сб. научн. статей. М.: Полиграфсервис, 2004. С. 47–57.
2. *Беляев А.И., Коровин Г.Н., Лузян Е.А.* Использование спутниковых данных в системе дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов): Сб. научн. статей. М.: GRANP-Poligraph, 2005. Т. 1. С. 20–29.
  3. *Беляев А.И., Ершов В.В., Лузян Е.А., Романюк Б.В., Сухинин А.И., Тащилин С.А.* Национальная система сбора, обработки и анализа информации о природных пожарах и ее сопряжение с международными и региональными информационными сетями // Управление лесными пожарами на экорегиональном уровне: Матер. Междунар. научно-практ. семинара. Хабаровск, Россия, 9–12 сентября 2003 г. М.: Изд-во «Алекс», 2004. С. 156–166.
  4. *Лузян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Нозик В.П., Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Кошелев В.В., Тащилин 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 / Ред. В.В. Белов. Новосибирск, 2003. (Сер. Экология. Вып. 68). 135 с.
  5. *Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов В.В., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Лузян 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 // Научно-технологич. 2000. Т. 1. № 2. С. 4–18.
  6. *Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов Д.В., Захаров М.Ю., Лузян Е.А., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Минько Н.П., Назиров Р.Р., Семенов С.М., Тащилин 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.
  7. *Копылов В.Н.* Вопросы создания регионального центра космического мониторинга окружающей среды на базе современных технологий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов): Сб. научн. статей. М.: GRANP-Poligraph, 2005. Т. 1. С. 140–148.
  8. *Галеев А.А., Ершов Д.В., Котельников Р.В., Лузян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Автоматизированная система формирования оперативной отчетности о действующих лесных пожарах на основе спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов): Сб. научн. статей. Вып. 3. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Т. 1. С. 359–365.
  9. *Галеев А.А., Ершов Д.В., Ефремов В.Ю., Крашенинникова Ю.С., Котельников Р.В., Лузян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Система оперативного доступа удаленных пользователей к информационным ресурсам информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов): Сб. научн. статей. Вып. 3. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Т. 1. С. 351–358.
  10. *Барталев С.А., Беляев А.И., Егоров В.А.* Анализ временных серий спутниковых данных SPOT-Vegetation для детектирования поврежденной пожарами растительности Северной Евразии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов): Сб. научн. статей. М.: GRANP-Poligraph, 2005. Т. 1. С. 380–387.
  11. *The Vegetation User Guide, VEGETATION, 2002, <http://www.spotimage.fr/data/images/vege/VEGETAT/home.htm>.*
  12. *Беляев А.И., Коровин Г.Н., Лузян Е.А.* Состояние и перспективы развития Российской системы дистанционного мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов): Сб. научн. статей. Вып. 3. М.: ООО «Азбука-2000», 2006. Т. 1. С. 341–350.
  13. *Афонин С.В., Белов В.В.* Направления развития и результаты пассивного спутникового зондирования системы «атмосфера – земная поверхность» в Институте оптики атмосферы СО РАН // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 12. С. 1031–1041.
  14. *Вонский С.М., Жданко В.А., Корбут В.И., Семенов М.М., Тетюшева Л.В., Загородняя Л.С.* Составление и применение местных шкал пожарной опасности в лесу. Л.: ЛенНИИЛХ, 1975. 57 с.
  15. *Сухинин А.И., Пономарев Е.И.* Картирование и краткосрочное прогнозирование пожарной опасности в лесах Восточной Сибири по спутниковым данным // Сиб. экол. ж. 2003. Т. 10. № 6. С. 667–669.
  16. *Гришин А.М.* Моделирование и прогноз катастроф. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. 520 с.
  17. *Soja A.J., Shugart H.H., Sukhinin A., Conard S., Stackhouse P.W., Jr.* Satellite-Derived Mean Fire Return Intervals as Indicators of Change in Siberia (1995–2002) // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Publisher: Springer Netherlands, ISSN: 1381–2386 (Paper) 1573–1596 (Online) DOI: 10.1007/s11027-006-1009-3. 2006. Issue: V. 11. N 1. P. 75–96.
  18. *Афонин С.В., Белов В.В.* Эффективность применения спутниковых технологий для оперативного мониторинга лесных пожаров в Томской области // Исслед. Земли из космоса. 2001. № 6. С. 1–9.
  19. *Giglio L., Descloitres J., Justice C.O., Kaufman Y.J.* An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS // Remote Sens. Environ. 2003. V. 83. N 2–3. P. 273–282.

*E.A. Lupyay, A.A. Mazurov, D.V. Ershov, G.N. Korovin, N.V. Koroleva, N.A. Abushenko, S.A. Tashchilin, A.I. Sukhinin, S.V. Afonin, V.V. Belov, A.M. Grishin, V.S. Solov'ev.* **Satellite monitoring of Russia forest.** Main results of cooperative activity of scientific, educational, state, and commercial organizations in creation and development of the acting today space systems of study and monitoring forests of Russia are considered.

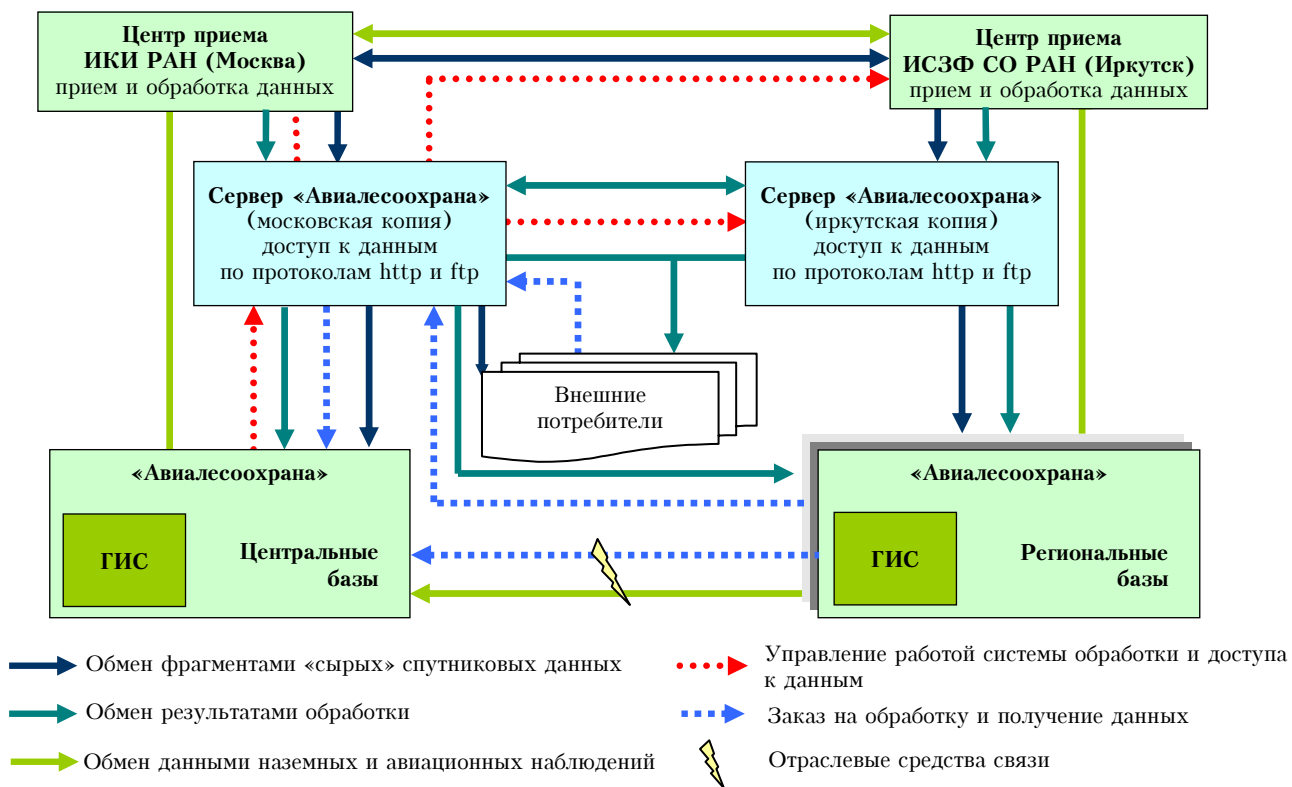


Рис. 1. Общая схема работы системы ИСДМ (прием, обработка и распространение данных)

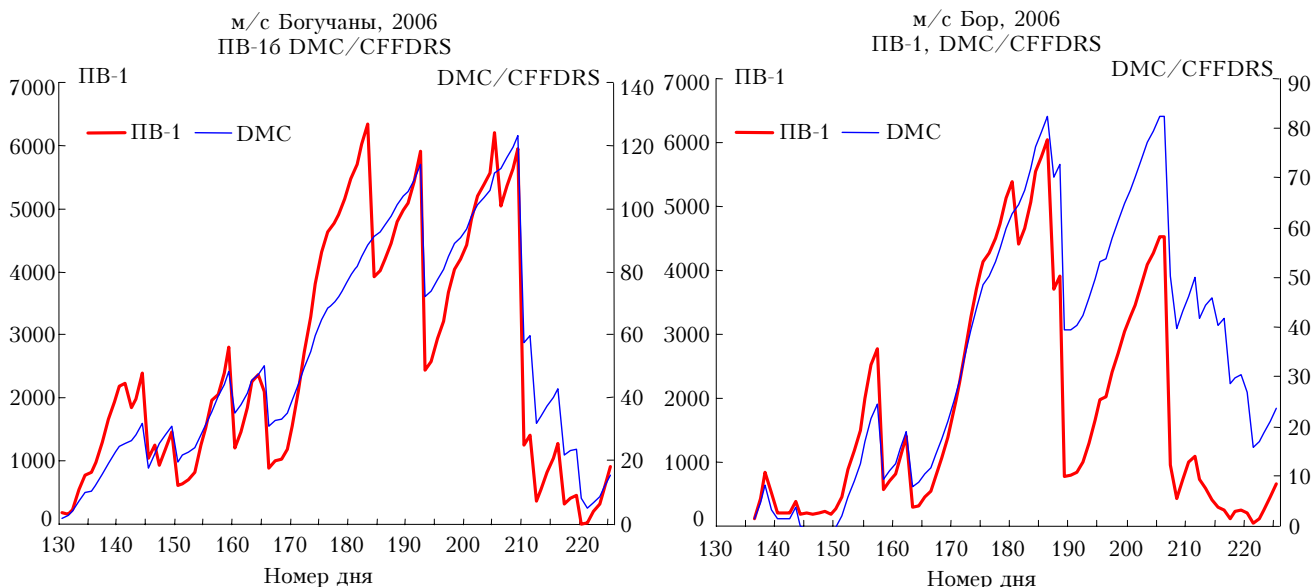


Рис. 2. Сравнение российского ПВ-1 и канадского DMC/CFFDRS показателей пожарной опасности

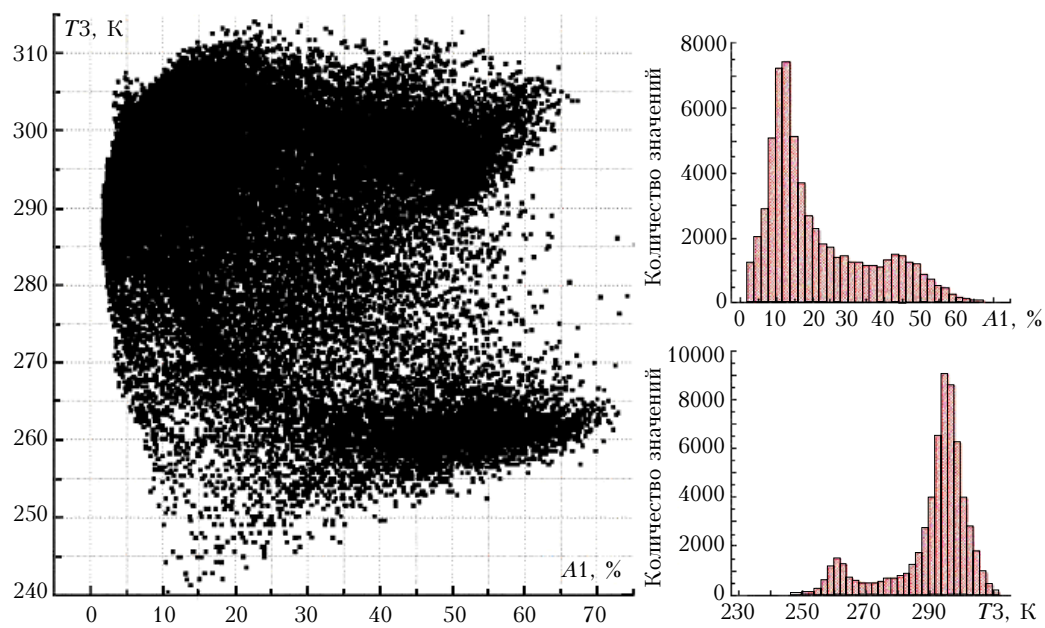


Рис. 3. Данные о значениях альbedo  $A_1$  (канал № 1,  $\lambda = 0,63$  мкм), радиационной температуры  $T_3$  (канал № 3,  $\lambda = 3,74$  мкм) и гистограммы их значений

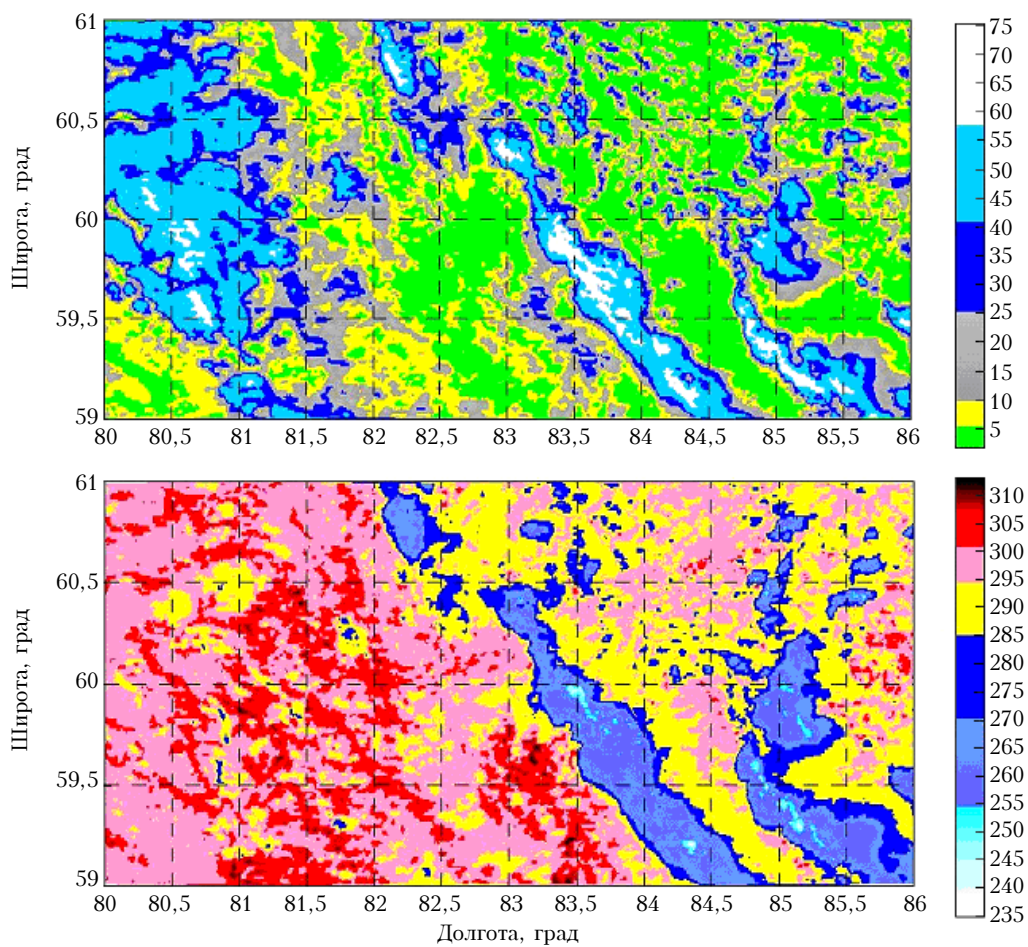


Рис. 4. Пространственные распределения альbedo  $A_1$  и радиационной температуры  $T_3$