

Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз)

**Е.А. Лупян¹, С.А. Барталев¹, Д.В. Ершов², Р.В. Котельников³, И.В. Балашов¹,
М.А. Бурцев¹, В.А. Егоров¹, В.Ю. Ефремов¹, В.О. Жарко¹, К.А. Ковганко²,
П.А. Колбудаев¹, Ю.С. Крашенинникова¹, А.А. Прошин¹, А.А. Мазуров¹,
И.А. Уваров¹, Ф.В. Стыценко¹, И.Г. Сычугов¹, Е.В. Флитман¹,
С.А. Хвостиков¹, П.П. Шуляк²**

¹ *Институт космических исследований РАН*

Москва, 117997, Россия

E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru

² *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

Москва, 117997, Россия

E-mail: cepfrs@cepl.rssi.ru

³ *Министерство природных ресурсов и экологии РФ*

Москва, 123995, Россия

E-mail: minprirody@mnr.gov.ru

Работа посвящена обсуждению текущих возможностей Информационной системы мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз), введенной в эксплуатацию в 2005 году. ИСДМ-Рослесхоз позволяет получать оперативную, однородную (сопоставимую) информацию, необходимую для ведения мониторинга лесных пожаров и их последствий на территории всей Российской Федерации. Основными задачами ИСДМ-Рослесхоз являются предоставление информации и инструментов ее анализа для: контроля за достоверностью сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах, информационной поддержки принимаемых решений о маневрировании ресурсами при организации мониторинга и тушения лесных пожаров, контроля за осуществлением органами государственной власти субъектов Российской Федерации переданных полномочий по охране лесов от пожаров, оценки последствий действия лесных пожаров. В работе представлен обзор текущих технических возможностей системы, связанных с организацией работы со спутниковой информацией. В ней представлены базовые схемы работы системы с такой информацией. В работе также рассмотрены особенности построения основных блоков, обеспечивающих работу с данными дистанционного мониторинга, и технологий, которые были использованы при их реализации. При этом особое внимание уделено особенностям построения системы и ее блоков, реализация которых стала возможна благодаря новым разработкам Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) в области технологий и методов обработки и анализа данных дистанционного зондирования.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг природных пожаров, дистанционное зондирование, информационные системы, распределенная обработка данных, обработка спутниковых данных, web-интерфейсы, сверхбольшие архивы данных, спутниковые данные

Введение

Быстрое развитие в последние десятилетия спутниковых методов и технологий дистанционного мониторинга Земли не только открыло новые возможности получения данных о различных природных явлениях и антропогенных объектах, но и позволило начать их использование в различных промышленных информационных системах для получения оперативной объективной информации, необходимой для принятия различных управленческих решений. Одной из наиболее востребованных сфер использования спутниковых технологий сегодня, безусловно, являются области, в которых необходимо достаточно оперативно обеспечить получение информации о состоянии и динамике объектов и явлений, охватывающих большие территории. К таким областям, в частности, можно отнести задачи, свя-

занные с организацией мониторинга и тушения природных пожаров, а также изучением их последствий. При этом, поскольку природные пожары возникают и развиваются на огромных территориях по всему миру, получение достаточно полной, объективной и оперативной информации о них возможно только с помощью дистанционных, в первую очередь спутниковых методов. Неслучайно поэтому в последние годы решению задач, связанных с созданием методов и технологий дистанционного мониторинга природных пожаров, посвящено значительное число работ. (см., в частности (Данюлис и др., 1989; Кашкин, Сухинин, 2001; Пономарев, Сухинин, 2001; Gigloi, 2013)).

В России проблема природных и, в первую очередь, лесных пожаров также стоит достаточно остро. Так, например, в «обычные» годы в нашей стране природными пожарами может проходиться около 2 млн. га. В «катастрофические» годы эти цифры могут превышать 20 млн. га. Поэтому традиционно в стране уделяется достаточно большое внимание вопросам организации мониторинга и тушения лесных пожаров. Достаточно давно для решения этих задач используются и дистанционные методы. Еще в тридцатые годы прошлого столетия в стране была создана система авиационной охраны лесов от пожаров (Коровин, Андреев, 1988). В семидесятые годы начались работы по созданию методов и подходов использования спутниковой информации для наблюдения и мониторинга лесных пожаров (Исаев и др., 1991). Активно эти работы проводились в последнее десятилетие прошлого века и в первом десятилетии настоящего (Лупян и др., 2003; Lourian, 2006). Все это позволило уже во второй половине последнего десятилетия прошлого века начать практическое использование технологий спутникового мониторинга лесных пожаров при организации их мониторинга и планирования работ по тушению. С 1995 г. проводились работы по созданию и внедрению в систему авиационной охраны лесов спутниковых технологий, которые смогли бы предоставить однородную оперативную информацию о действующих лесных пожарах по всей территории страны (Абушенко и др., 1998, 2000; Abushenko et al., 1999; Коровин, Барталев, 1998). Эти работы активно велись большим коллективом организаций и институтов Федерального агентства лесного хозяйства, Российской академии наук (РАН), Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), организаций других ведомств и частных предприятий.

Появление в начале двухтысячных годов новых спутниковых систем, свободно предоставляющих оперативную высококачественную информацию (https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table), и разработка в нашей стране новых подходов и технологий построения систем дистанционного мониторинга (подробно их современные возможности описаны в (Лупян и др., 2011, 2015) позволили в 2003–2004 гг. создать, а в 2005 г. ввести в промышленную эксплуатацию Информационную систему мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). Эта система позволила получить оперативную сопоставимую информацию, необходимую для ведения мониторинга лесных пожаров и их последствий на территории всей Российской Федерации и пограничных территориях.

Система создавалась и до настоящего времени поддерживается и развивается в основном ФБУ «Центральная база авиационной охраны лесов» (ФБУ «Авиалесоохрана»), Инсти-

тутом космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН), ФГБУ «НИЦ «Планета». В ее создании и развитии также принимали активное участие Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН), Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства (СПбНИИЛХ), ООО «Инком» и другие организации. Оператором системы является ФБУ «Авиалесоохрана».

Основными задачами ИСДМ-Рослесхоз сегодня являются предоставление информации и инструментов ее анализа для:

- контроля за достоверностью сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах, представляемых уполномоченными органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации;
- информационной поддержки принимаемых решений о маневрировании ресурсами при организации мониторинга и тушения лесных пожаров;
- контроля за осуществлением органами государственной власти субъектов Российской Федерации переданных полномочий в части охраны лесов от пожаров;
- оценки последствий действия лесных пожаров.

В настоящее время возможностями ИСДМ-Рослесхоз пользуются более 2 тысяч учреждений и организаций, в том числе органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации. Пользователи системы расположены фактически по всей территории России.

Система позволяет работать с оперативно поступающей спутниковой, метео- и наземной информацией, обеспечивая ее оперативную обработку, архивацию и представление пользователям. Достаточно подробно различные возможности системы на разных стадиях ее развития были описаны в работах (Котельников и др., 2012, Барталев и др., 2008, 2010; Беляев и др., 2005, 2006; Ершов и др., 2004).

Следует отметить, что в процессе эксплуатации по мере развития методов, технологий и систем спутникового мониторинга ИСДМ-Рослесхоз постоянно развивалась, в ней появлялись новые возможности, позволяющие повысить уровень оперативности поступления данных, ее достоверность, расширить возможности работы и анализа имеющейся информации. В ряде случаев это потребовало как кардинальной модификации базовых блоков, входящих в состав системы, так и включения в систему новых блоков и подсистем. Например, блока уточнения площадей, пройденных огнем, с использованием спутниковых данных высокого пространственного разрешения, блока моделирования динамики отдельных пожаров и др.

Настоящая работа посвящена обзору текущих технических возможностей системы, связанных с организацией работы со спутниковой информацией. В ней представлены базовые схемы работы системы с такой информацией, ориентированные на максимальное использование различных современных методов работы с данными в распределенных информационных системах, в том числе и онлайн получение данных из внешних информационных систем. В работе также рассмотрены особенности построения основных блоков, обеспечивающих работу с данными дистанционного мониторинга и технологий, которые были использованы при их реализации. При этом особое внимание уделено особенностям построения системы и ее блоков,

реализация которых стала возможна благодаря новым разработкам ИКИ РАН и его партнеров в области технологий и методов обработки и анализа данных дистанционного зондирования.

Основные виды информации и особенности работы с ней в ИСДМ-Рослесхоз

Для решения перечисленных выше задач ИСДМ-Рослесхоз обеспечивает работу со следующими основными видами информации.

- Оперативная информация о каждом действующем пожаре, получаемая на основе данных дистанционного мониторинга. При этом система должна обеспечить автоматизированное получение различных характеристик действующих природных пожаров (контур территории, пройденной пожаром; площадь активного горения, наблюдаемая за сутки; площадь, пройденная огнем за время действия пожара; время возникновения; затронуты ли огнем покрытые лесом участки; оценка возможной угрозы населенным пунктам; мог ли конкретный пожар возникнуть от молнии и т.д.).
- Оперативная информация о лесопожарной ситуации в различных регионах страны, получаемая на основе данных дистанционных наблюдений (число действующих пожаров; число вновь возникших пожаров; площадь, пройденная пожарами за сутки и с начала пожароопасного сезона; число трансграничных пожаров и т.д.).
- Оперативная информация о пожарах, зарегистрированных региональными лесопожарными службами, их характеристиках (площадь; координаты; время регистрации и время действия; тип пожара и т.д.) и другая поступившая с регионов отчетная информация, связанная с охраной лесов от пожаров.
- Информация о площадях, пройденных отдельными пожарами, уточняемая на основе спутниковой информации различного пространственного разрешения после завершения пожаров.
- Комплексная информация о площадях, пройденных огнем, в различных регионах, получаемая с учетом уточненной спутниковой информации, в том числе с учетом ее сравнения с данными, предоставляемыми региональными диспетчерскими службами лесного хозяйства.
- Информация, полученная на основе спутниковых данных о повреждениях лесного покрова, возникших в результате действия природных пожаров.
- Оперативные и архивные спутниковые изображения различного пространственного разрешения.
- Историческая информация, полученная на основе спутниковых данных о пожарах, действовавших на территории России с начала настоящего века.
- Различная информация об окружающей среде (метеоинформация, информация о пожарной опасности, грозовая активность, растительный покров и т.д.).
- Различная картографическая информация.

Все процессы получения перечисленной информации в системе максимально автоматизированы и позволяют специалистам, осуществляющим лесопожарный мониторинг, получать уже подготовленную для анализа информацию, а не исходные данные дистанционных наблюдений.

Одной из основных задач системы является не только получение перечисленной выше информации, но и предоставление пользователям различных инструментов, позволяющих проводить ее анализ. При этом данные инструменты должны обеспечивать возможность распределенной работы с информацией, поскольку, как уже говорилось, пользователи системы расположены практически по всей территории России и, в силу достаточно больших объемов информации, поступающей в систему, она является территориально распределенной и обеспечивает возможность работы с различными распределенными архивами спутниковых данных, расположенными в различных центрах приема, сбора, обработки и архивации спутниковой информации. Поэтому в ИСДМ-Рослесхоз создан достаточно большой набор инструментов, рассчитанных в основном на распределенную работу с информацией. Эти инструменты позволяют, в частности:

- вести анализ различной пространственной информации;
- формировать различные отчеты, в том числе и проводить их анализ, уточнение и контроль достоверности;
- обеспечивать различное графическое представление информации для обеспечения удобства ее анализа;
- проводить обработку и анализ спутниковой информации (в том числе для проведения оценок площадей, пройденных огнем, с использованием спутниковых данных различного пространственного разрешения);
- проводить оценку сценариев развития отдельных пожаров, в том числе с использованием возможности оперативного моделирования их распространения;
- предоставлять возможность анализа исторической информации, в том числе осуществлять удобное сравнение с оперативной информацией;

Таким образом, система обеспечивает пользователям возможность получения достаточно большого объема информации высокого уровня обработки и средства для ее анализа. Ниже мы рассмотрим технические особенности реализации в ИСДМ-Рослесхоз процессов сбора, обработки и представления информации и более детально остановимся на возможностях работы с данными, реализованными в системе.

Основные виды спутниковых данных, используемых в ИСДМ-Рослесхоз

Основой для получения большинства информационных продуктов в системе являются данные спутниковых наблюдений. На момент создания системы в ней использовались данные приборов MODIS, установленных на спутниках Terra и Aqua (https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table) и AVHRR (<http://www.nesdis.noaa.gov/>), это позволяло

получать информацию по любой территории России примерно 6 раз в сутки. По мере развития ИСДМ-Рослесхоз в нее интегрировалась информация и других спутниковых систем.

Расширению объемов и типов спутниковой информации в системе способствовало в первую очередь два следующих фактора. Появление значительного числа новых спутниковых систем, в том числе российских. Расширение возможностей свободного доступа к различным спутниковым данным. Здесь следует отметить принятое Геологической службой США в 2009 году решение о свободном распространении данных спутников Landsat и решение Российского космического агентства о предоставлении бесплатного доступа к данным российских космических аппаратов ДЗЗ для решения задач различных ведомств. Все это позволило расширить возможности ИСДМ-Рослесхоз. Например, стало возможно проводить массовое уточнение площадей, пройденных огнем, с использованием данных высокого пространственного разрешения, так, в 2013 г. было уже уточнено более 80% площадей, пройденных лесными пожарами, детектированными по спутниковым данным (Барталев и др., 2009, 2012). Кроме того, ежедневная частота наблюдений отдельных территорий, поступающих в ИСДМ-Рослесхоз, превышает в настоящее время 20 раз в сутки. Возможности наблюдения крупных пожаров в районе о. Байкал с помощью различных спутниковых систем хорошо, на наш взгляд, иллюстрирует *рис. 1*, на нем приведен пример изображений, полученных от различных спутниковых систем 23 августа 2015 г. и представлен график их поступления.

Следует также отметить, что за время эксплуатации ИСДМ-Рослесхоз в ее работе использовалась информация различных спутниковых систем. В настоящее время в ИСДМ-Рослесхоз поступает информации более чем от 15 спутников. Общая информация о спутниковых данных, поступающих и использующихся в настоящее время в ИСДМ-Рослесхоз, приведена в *табл. 1*. При анализе информации, представленной в этой таблице, следует обратить внимание на то, что спутниковые данные в систему поступают из достаточно большого числа территориально распределенных центров. При этом в системе становятся доступны почти 12 Тбт данных в месяц. Эти факты существенно влияют на архитектуру построения системы.

Таблица 1. Состав основных спутниковых данных, использующихся в ИСДМ-Рослесхоз (по состоянию на 2015 год)

<i>Название прибора (спутник)</i>	<i>Пространственное разрешение</i>	<i>Частота поступления данных</i>	<i>Источник получения данных</i>	<i>Объемы поступления (Гб/месяц)</i>	<i>Основные задачи, для решения которых данные используются в ИСДМ-Рослесхоз</i>
AVHRR (NOAA 15, 18, 19)	1 км	Не менее 4 раз в сутки	Центры Росгидромета, ИКИ РАН	110	Наблюдение действующих пожаров. Оценка оперативной метеообстановки.
MODIS (AQUA, TERRA)	250 м., 500 м., 1 км.	Не менее 4 раз в сутки	Центры Росгидромета, ЦБ АЛО, СФУ, USGS	2192	Наблюдение действующих пожаров. Оценка оперативной метеообстановки. Уточнение площадей, пройденных огнем. Оценка повреждений.

VIIRS (Suomi NPP)	375 м., 750 м.	Не менее 2 раз в сутки	Центры Росгидромета	174	Наблюдение действующих пожаров. Оценка оперативной метеобстановки.
МСУ-МР («Метеор-М» №2)	1 км.	Не менее 2 раз в сутки	Центры Росгидромета	423	Наблюдение действующих пожаров. Оценка оперативной метеобстановки.
МСУ-ГС (Электро-Л), SEVIRI (Meteosat-10), Meteosat-7, MTSAT-2	1 км., 4 км.	От 6 до 96 раз в сутки	Центры Росгидромета,	380	Оценка оперативной метеобстановки.
КМСС («Метеор-М» №2)	60 м., 120 м.	Раз в 2–3 суток	Центры Росгидромета	1219	Наблюдение действующих пожаров. Уточнение площадей, пройденных огнем.
ETM+ (Landsat-7)	15 м., 30 м.	Раз в 8 суток	USGS	877	Наблюдение действующих пожаров. Уточнение площадей, пройденных огнем.
OLI/TIRS (Landsat-8)	15 м., 30 м.	Раз в 8 суток	USGS	5851	Наблюдение действующих пожаров. Уточнение площадей, пройденных огнем.
ШМСА-СР (Ресурс – П №1 и №2)	60 м., 120 м.	Раз в 8 суток *	Центры Росгидромета, НЦ ОМЗ Геоportal Роскосмоса	4	Уточнение площадей, пройденных огнем.
ШМСА-ВР (Ресурс – П №1 и №2)	12 м., 24 м.	Раз в 20 суток *	Центры Росгидромета, НЦ ОМЗ Геоportal Роскосмоса	120	Уточнение площадей, пройденных огнем.
МСС (Канопус - В, БКА)	10 м.	Раз в 30 суток *	Центры Росгидромета, НЦ ОМЗ Геоportal Роскосмоса	65	Уточнение площадей, пройденных огнем.
ПСС (Канопус - В, БКА)	2 м.	Раз в 30 суток *	Центры Росгидромета, НЦ ОМЗ	240	Уточнение площадей, пройденных огнем.
Геотон (Ресурс – П №1 и №2)	1 м., 3-4 м.	Раз в 30 суток *	Центры Росгидромета, НЦ ОМЗ Геоportal Роскосмоса	110	Детальный анализ терри- торий.

* – потенциальная частота поступления данных

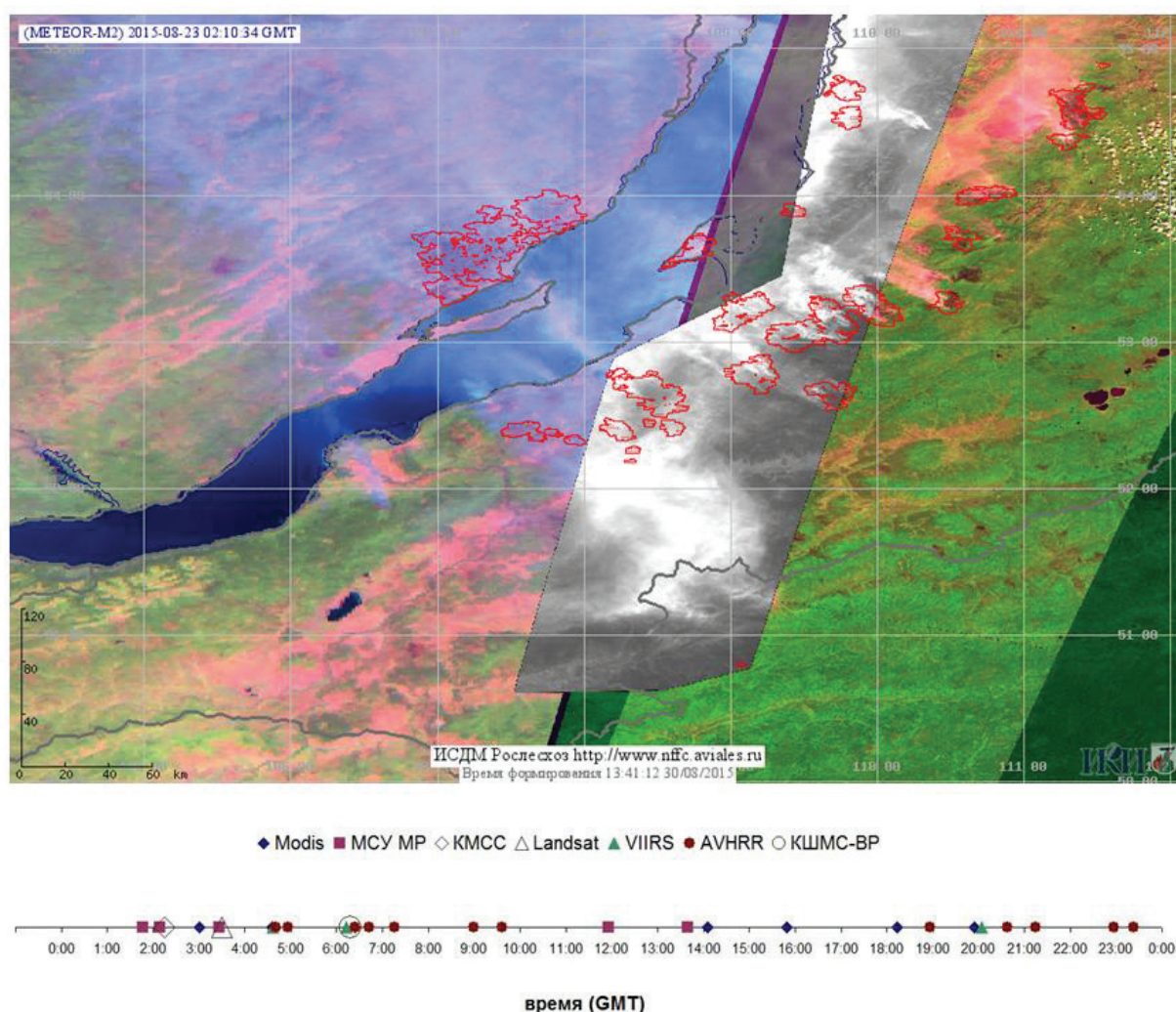


Рис. 1. Пример наблюдения крупных пожаров в районе озера Байкал 23 августа 2015 г. На композитном изображении представлены данные приборов MCY-MP, KMCC, OLI-TIRS и KШМСА ВР, а также график поступления данных всех приборов, по которым была получена информация за эти сутки

Основные технические требования, предъявляемые к ИСДМ-Рослесхоз

Исходя из объемов информации, поступающей в систему, ее основных задач, особенностей ее работы и использования информации, можно выделить следующие основные технические требования, которым должна удовлетворять система.

- В системе должно быть организовано оперативное автоматизированное получение информации из различных источников (в том числе центров приема спутниковой информации). При этом из-за больших объемов исходных данных, поступающих из отдельных источников, должна быть предусмотрена возможность проведения их обработки непосредственно в центрах приема для получения информационных продуктов, востребованных в системе.
- Должны быть созданы максимально автоматизированные процедуры обработки поступающих данных для получения использующихся в системе информационных продуктов.

- В силу больших объемов информации, формируемой для системы в различных источниках (прежде всего в центрах приема спутниковых данных), в ней должна быть обеспечена возможность работы с территориально распределенными архивами данных.
- Должна быть обеспечена возможность распределенной работы с получаемой в системе информацией. При этом пользователи системы должны получать однотипный доступ ко всем ее информационным ресурсам вне зависимости от места физического хранения той или иной информации.
- Пользователи должны иметь не только возможность получения различной информации, но и обладать различными инструментами ее анализа. При этом в силу того, что пользователями системы является значительное число специалистов и организаций, желательно избегать использования специализированных приложений работы с данными и ориентироваться на инструменты, использование которых на рабочих местах пользователей могут обеспечить стандартные Интернет-браузеры.
- Часть информации для своей работы система должна иметь возможность получать в непосредственном доступе из различных сторонних информационных систем и, в свою очередь, должна обеспечивать возможность предоставления доступа к своей информации из различных сторонних информационных систем. Поэтому в системе должна обеспечиваться возможность автоматизированного взаимодействия с различными внешними информационными системами.
- Поскольку система является достаточно крупной и в ее составе необходимо поддерживать достаточно большое число информационных ресурсов и блоков обработки, анализа и представления данных, в ней должны быть предусмотрены механизмы, обеспечивающие автоматизированный контроль работоспособности и управления ее элементами. Без этих механизмов поддержка системы будет требовать значительных усилий и затрат.

Кроме перечисленных требований, следует еще обратить внимание на тот факт, что при разработке системы для минимизации затрат на ее создание и поддержку было принято решение по возможности не создавать собственную инфраструктуру приема и первичной обработки спутниковых данных, а максимально использовать возможности уже действующих в стране крупных центров приема и обработки спутниковой информации.

Исходя из перечисленных основных технических требований, была разработана архитектура построения системы и схема ее реализации, основанная на уже действующих в стране ресурсах. Их особенности мы рассмотрим в следующем разделе работы.

Архитектура построения и схема реализации ИСДМ-Рослесхоз

Для решения задач, стоящих перед ИСДМ-Рослесхоз, в ней реализованы различные подсистемы и блоки, взаимодействие которых представлено на структурной схеме системы (см. *рис. 2*).

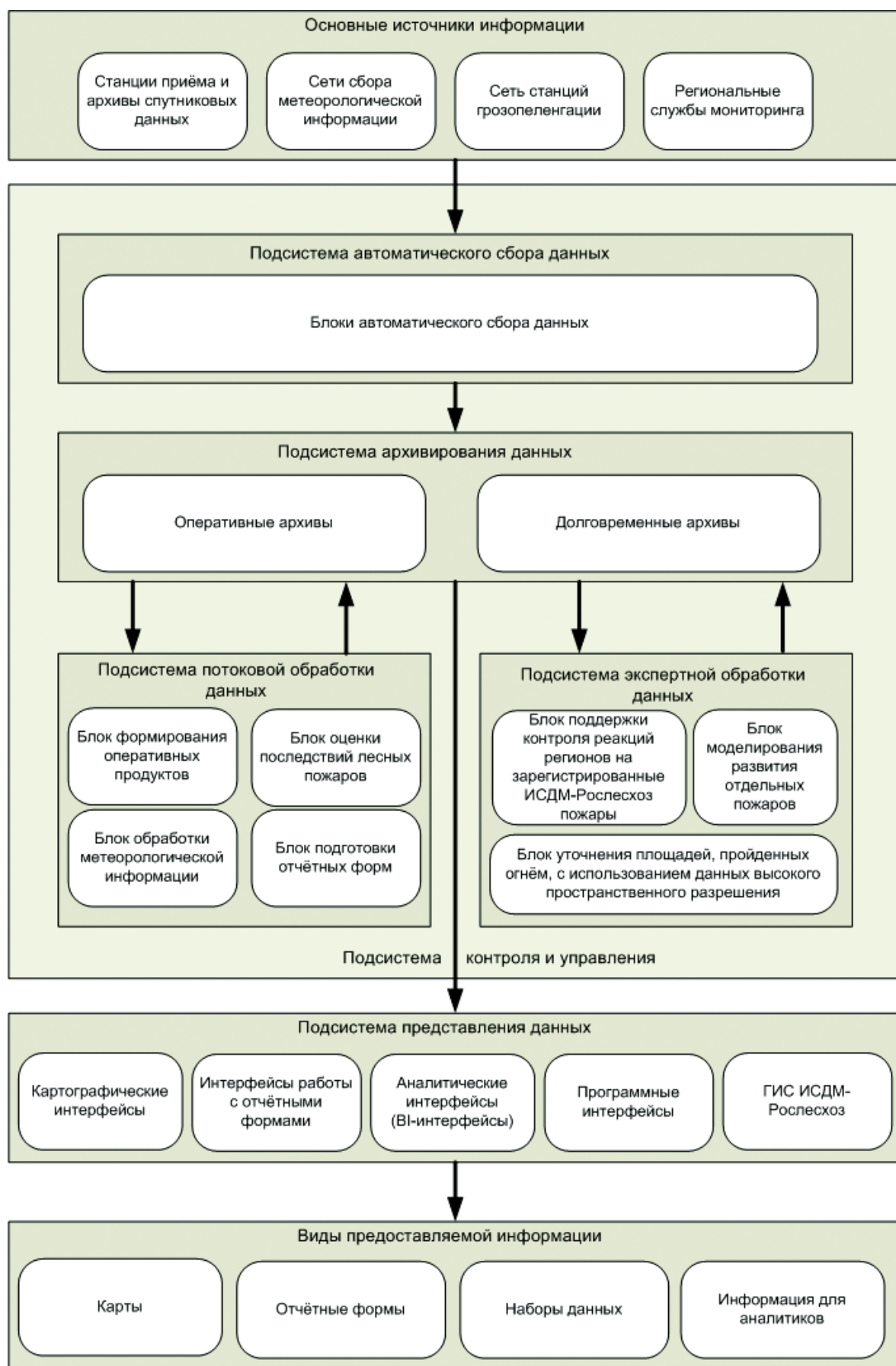


Рис. 2 Структурная схема организации работы с данными спутникового мониторинга в ИСДМ-Рослесхоз

Как уже отмечалось, одним из основных подходов при создании и развитии системы было максимальное использование уже существующих центров приема, обработки и распространения данных ДЗЗ. Это позволило избежать необходимости построения множества собственных дорогостоящих центров сбора и первичной обработки спутниковых данных и ограничиться созданием в уже действующих российских центрах узлов ИСДМ-Рослесхоз, которые обеспечивают специализированную работу с данными ДЗЗ в интересах системы. Кроме того, в системе была задействована возможность получения информации из различных зарубежных центров распространения спутниковых данных с организацией обработки получаемой от них информации в узлах системы. Схема базовых узлов ИСДМ-Рослесхоз и основные решаемые ими задачи представлены на *рис. 3*.

При этом, для того, чтобы избежать необходимости постоянного обмена большими объемами информации, в узлах системы реализованы элементы фактически всех основных блоков и подсистем, которые позволяют решить практически полный цикл задач, связанных с получением (сбором), обработкой, архивацией и доступом к информации, включая проведение ее анализа.

Далее мы кратко остановимся на текущих возможностях основных блоков и подсистем ИСДМ-Рослесхоз.

Блок автоматического сбора данных. Задачей блока является получение данных из различных источников, их входной контроль, предварительная обработка и занесение в специализированные распределенные архивы ИСДМ-Рослесхоз. В настоящее время этот блок обеспечивает:

- оперативное получение спутниковых данных из работающих в интересах системы российских центров приема, расположенных в ФБУ «Авиалесоохрана» (г. Пушкино), Европейском, Сибирском и Дальневосточном центрах ФГБУ «НИЦ «Планета» (соответственно в городах Москва, Новосибирск и Хабаровск) (Лупян и др., 2014), центре Сибирского федерального университета (г. Красноярск), а также из других российских и зарубежных центров, предоставляющих свободный оперативный доступ к спутниковым данным, центра LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center), входящего в состав USGS (U.S. Geological Survey) (<https://lpdaac.usgs.gov/>) и других поставщиков спутниковой информации (Носенко, Лошкарев, 2010; Носенко, Новиков и др., 2010; Новикова и др., 2004);
- ежедневное поступление метеорологической информации в систему организовано из Гидрометцентра России (Котельников, Коршунов, 2010);
- оперативная регистрация и передача в систему информации из сети станций регистрации молниевых разрядов;
- ежедневное поступление данных о лесных пожарах от различных региональных лесопожарных служб и организаций, полученных на основе наземных и авиационных наблюдений (Котельников, Флитман, 2007);

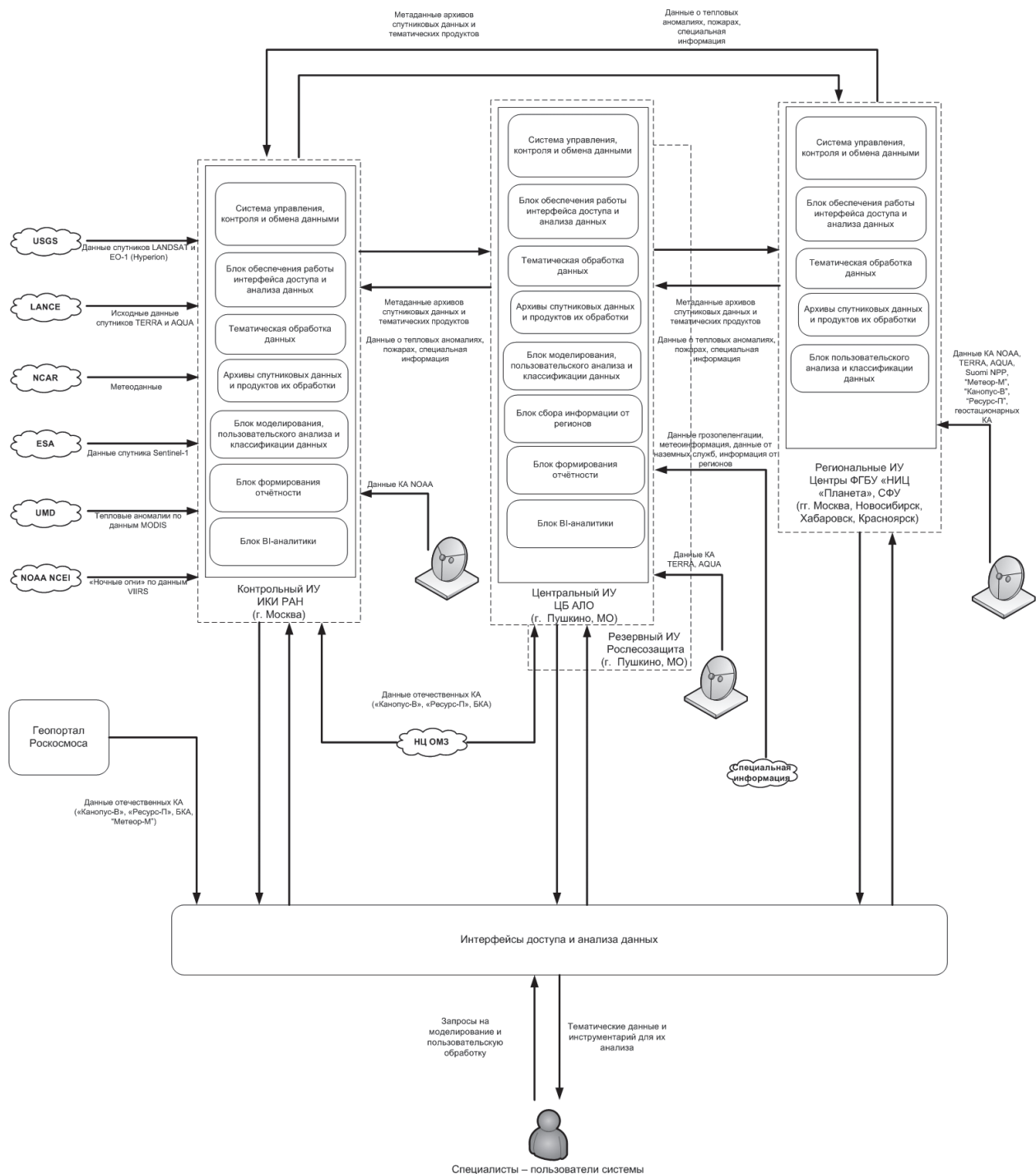


Рис. 3. Схема организации базовых узлов ИСДМ-Рослесхоз, обеспечивающих работу со спутниковыми данными, и их взаимодействия

Подсистема архивации данных обеспечивает автоматизированное ведение оперативных и долговременных архивов информации, получаемой в ИСДМ-Рослесхоз. Подсистема обеспечивает автоматизированное пополнение архивов, возможность выборки наборов данных для проведения обработки, обработку запросов и выборку данных для системы представления информации пользователям. Подсистема поддерживает более 20 специализированных архивов и баз данных, ориентированных на хранение различной ин-

формации в ИСДМ-Рослесхоз. Следует отметить, что сегодня в системе поддерживаются не только оперативные, но и исторические архивы данных. Так, например, в системе ведутся базы данных о пожарах и площадях, пройденных огнем, полученных по данным спутниковых наблюдений с 2001 г. по настоящее время. Следует также отметить, что практически все архивы ИСДМ-Рослесхоз находятся в непосредственном доступе, что позволяет организовывать оперативное предоставление пользователям как текущей, так и исторической информации.

Подсистема автоматической обработки данных состоит из специализированных блоков, позволяющих формировать различные информационные продукты. В подсистему входят блоки, обрабатывающие информацию в автоматизированном режиме. Эти блоки могут производить обработку информации как в потоковом режиме по мере ее поступления в систему, так и по запросу пользователей. В подсистему входят следующие основные блоки.

- **Блок автоматического формирования оперативных продуктов на основе спутниковых данных.** Обеспечивает формирование информационных продуктов, необходимых для анализа лесопожарной обстановки, в том числе детектирование участков активного горения, формирование на их основе информации о пожарах и расчет их характеристик (площадей, пройденных огнем; площадей зон активного горения; оценки типов территорий, пройденных огнем; расчет потенциальных угроз и т.д.).
- **Блок оценки последствий действия лесных пожаров,** обеспечивающий автоматическую обработку спутниковых данных среднего пространственного разрешения для оценки площадей, пройденных пожарами, и вызванных ими повреждений.
- **Блок обработки метеорологической информации,** осуществляющий расчет различных характеристик для оценки пожарной опасности в лесах и обеспечивающий автоматическую подготовку карт метеорологических параметров для проведения работ по мониторингу и организации тушения лесных пожаров.
- **Блок автоматической подготовки отчетных форм,** обеспечивающий автоматическое формирование и представление пользователям отчетных материалов на основе результатов обработки данных, поступающих в ИСДМ-Рослесхоз. Блок, в частности, обеспечивает возможность формирования комплексных отчетных форм на основе совместного анализа данных дистанционных и наземных наблюдений.

В составе подсистемы работают и другие блоки, обеспечивающие автоматизированную обработку данных. Высокая степень автоматизации блоков обработки позволяет формировать в системе различные информационные продукты, используемые при решении самых различных задач ИСДМ-Рослесхоз.

Блоки, обеспечивающие возможность интерактивного анализа информации. Данные блоки обеспечивают возможность решения различных задач, возникающих при проведе-

нии анализа информации при мониторинге пожаров, оценки возникающих от них угроз и последствий действия лесных пожаров. К таким блокам можно, например, отнести следующие.

- **Блок поддержки контроля реакций регионов на зарегистрированные ИСДМ-Рослесхоз пожары.** Обеспечивает возможность ведения разделов БД с информацией о реакции региональных служб на информацию о конкретных пожарах и возможности подтверждения или отклонения этих реакций специалистами федеральной диспетчерской службы ФБУ «Авиалесоохрана».
- **Блок моделирования развития отдельных пожаров.** Позволяет проводить моделирование и последующий анализ его результатов для конкретного пожара с использованием имеющейся в системе оперативной информации и данных об объектах, расположенных в зоне действия этого пожара
- **Блок уточнения площадей, пройденных огнем, с использованием данных высокого пространственного разрешения.** Позволяет осуществлять автоматизированное оконтуривание площадей, пройденных огнем, заносить полученную информацию в БД ИСДМ-Рослесхоз, осуществлять подготовку информации, необходимой для формирования статистической отчетности.

Следует отметить, что по мере расширения задач ИСДМ-Рослесхоз происходит создание новых блоков, обеспечивающих решение конкретных задач и методического обеспечения для работы с ними.

Подсистема представления данных пользователям является одним из ключевых элементов ИСДМ-Рослесхоз. Она обеспечивает пользователей возможностью получения и анализа информации. Поскольку одной из основных особенностей ИСДМ-Рослесхоз является необходимость обеспечения возможности доступа пользователей, работающих в различных регионах России, к информации, предоставляемой системой, основные интерфейсы системы созданы на основе современных web-технологий. Это позволяет пользователям системы получать и анализировать представляемую им информацию, не используя какое-то специальное программное обеспечение, требующее установки на их рабочих местах. В то же время современные технологии позволили создать в системе достаточно сложные интерфейсы, позволяющие не только оперативно находить и получать интересующую пользователя информацию, но и проводить ее анализ. Созданные в системе интерфейсы удаленной работы с данными можно разделить на следующие основные группы:

- картографические интерфейсы;
- интерфейсы, обеспечивающие работу с различными отчетными формами;
- аналитические интерфейсы (BI-интерфейсы);
- программные интерфейсы.

Остановимся на основных особенностях этих интерфейсов.

Картографические интерфейсы. Позволяют анализировать различную пространственную информацию, получаемую в системе. Эти интерфейсы обеспечивают возможность работы практически со всеми типами информации, поступающей в ИСДМ-Рослесхоз. Они обеспечивают возможность работы с различными информационными продуктами,

получаемыми на основе данных дистанционного мониторинга, метеоинформацией, данных, получаемых от региональных лесопожарных служб, данных системы регистрации молниевых разрядов и т.д. Эти интерфейсы позволяют выбрать и проанализировать оперативную и архивную информацию по любому избранному участку на территории страны. Отметим также, что в эти интерфейсы интегрированы различные инструменты, позволяющие проводить анализ и обработку получаемой в системе информации. Например, проводить коррекцию результатов автоматического детектирования горячих точек (подозрения на зоны горения), проводить уточнение пройденных огнем площадей с использованием спутниковых данных различного пространственного разрешения, проводить моделирование развития конкретных пожаров и анализировать полученные результаты и т.д. Особенности реализации картографических интерфейсов для работы с данными в ИСДМ-Рослесхоз описаны, в частности, в (Ефремов и др., 2011)

Интерфейсы для работы с отчетными формами. Эти интерфейсы обеспечивают представление доступа пользователям к динамически формирующимся отчетным формам, необходимым для оценки текущей ситуации, проверки корректности региональной отчетности и подготовки информации для формирования официальной отчетности. Следует отметить, что, используя эту группу интерфейсов, пользователи системы могут не только получать информацию, но и осуществлять ее комментарии. Интерфейсы также предоставляют возможность специалистам федеральной диспетчерской службы оценивать комментарии региональных служб, принимая или отклоняя их. Интерфейсы позволяют работать как с оперативными данными, так и с данными многолетних наблюдений пожаров. Особенности реализации системы автоматического формирования отчетности на основе данных спутникового мониторинга в ИСДМ-Рослесхоз описаны, в частности, в (Галеев и др., 2006)

Аналитические интерфейсы (BI-интерфейсы). Эти интерфейсы позволяют проводить анализ имеющейся в БД ИСДМ-Рослесхоз информации, представлять ее в виде различных диаграмм, карт и таблиц. При этом интерфейсы позволяют пользователю выбирать различные настройки интерфейса, а также выбирать фрагменты информации и проводить их анализ. Особенности реализации аналитических интерфейсов в ИСДМ-Рослесхоз описаны в (Кобец и др., 2015).

Характерный вид картографического интерфейса, интерфейсов работы с отчетными формами и аналитических интерфейсов представлены на *рис. 4*.

Программные интерфейсы. В последние годы в системе активно развиваются и различные инструменты, позволяющие предоставлять информацию в различные системы в режиме онлайн. Эти интерфейсы позволяют предоставить сторонним системам как различные картографические слои, так и различные наборы данных.

Кроме этого, для проведения детального анализа информации и подготовки различных комплексных отчетов и презентаций создана специализированная **ГИС ИСДМ-Рослесхоз**, ориентированная в основном на использование специалистами ФБУ «Авиалесоохрана». Особенностью созданной системы является то, что она позволяет работать с данными как в автоматическом, так и в интерактивном режимах.



237

В автоматическом режиме ежедневно в течение пожароопасного сезона формируется набор карт фактической горимости лесов по данным субъектов и спутникового мониторинга, рассчитываются показатели и классы пожарной опасности, на основе которых создается серия карт классов пожарной опасности и вероятности возникновения пожаров, осадков и температуры воздуха (Ершов и др., 2010).

В интерактивном режиме диспетчер может получать в ГИС на разных пространственных уровнях информацию о действующих очагах крупных лесных пожаров по данным спутникового мониторинга, сопоставленных с данными отчетности субъектов (Котельников, Флитман, 2007), осуществляя при этом контроль и оценку эффективности и своевременности их обнаружения и тушения (Шуляк и др., 2014). ГИС получает из ИСДМ-Рослесхоз по запросу стандартные статистические формы (Галеев и др., 2006). ГИС позволяет работать практически со всей информацией, имеющейся в ИСДМ-Рослесхоз.

Отметим, что важной особенностью ГИС ИСДМ-Рослесхоз можно считать возможность добавления с целью комплексного анализа практически любой географически привязанной информации, в том числе материалов лесоустройства.

Отметим, что в ГИС ИСДМ-Рослесхоз заложены потенциальные возможности для решения региональных задач, например, прогнозирование распространения лесных пожаров с учетом более детальной картографии или проектирование мероприятий, связанных с ликвидацией последствий лесных пожаров региональных лесопожарных служб. Она обеспечивает получение и анализ информации, необходимой для ведения работ по организации мониторинга и тушения лесных пожаров, в том числе получение прогнозной информации о развитии отдельных очагов природных пожаров. В ГИС ИСДМ-Рослесхоз реализован также специальный инструментарий для ежегодного обновления границ зон мониторинга ИСДМ-Рослесхоз и работы с информацией по лесопожарному обустройству территорий. Для этого, в частности, создана соответствующая технология получения и обновления базовых карт производственно-территориального деления лесного фонда субъектов Российской Федерации (Подольская, Ершов, 2010).

Базовые технологии, на которых построена система

Технологической основой для реализации ИСДМ-Рослесхоз стали, в первую очередь, технологии, разработанные в ИКИ РАН, ориентированные на создание различных автоматизированных информационных систем, обеспечивающих сбор, обработку, архивацию и распространение данных дистанционного мониторинга. Эти технологии и созданное на их основе базовое программное обеспечение позволяют создавать и поддерживать программно-аппаратные блоки, обеспечивающие:

- автоматизированное получение данных из различных источников;
- обработку этих данных для получения различных специализированных информационных продуктов, необходимых для решения задач конкретной системы;

- автоматизированное ведение распределенных архивов спутниковых данных и результатов их обработки, обеспечивающих возможность оперативного предоставления пользователям необходимой информации;
- работу различных интерфейсов, обеспечивающих возможность распределенного доступа к информации и проведение ее анализа;
- управление и контроль работоспособности распределенными блоками системы.

Достаточно подробно эти технологии и использованное при построении ИСДМ-Рослесхоз базовое программное обеспечение описано, в частности, в работах (Лупян и др., 2004, 2011, 2015; Кашницкий и др., 2015; Подольская, Ершов, 2010; Балашов и др., 2013; Егоров и др., 2004; Толпин и др., 2011; Ефремов и др., 2004).

В системе также использовано достаточно много созданных в последние годы разработчиками системы новых методических и технических решений, обеспечивающих анализ и использование данных ДЗЗ для получения информации о пожарах и их последствиях. Особо выделим такие решения, реализованные в ИСДМ-Рослесхоз, которые позволили использовать в ней уникальный функционал, пока недоступный в других действующих сегодня в мире системах дистанционного мониторинга природных пожаров. К таким решениям в первую очередь, на наш взгляд, следует отнести следующие методы и технологии:

- сбора и интеграции информации об отдельных пожарах, получаемой на основе детектирования участков горения (горячих точек);
- автоматической интеграции информации, поступающей от различных спутниковых систем;
- моделирования динамики отдельных пожаров с использованием информации, получаемой на основе данных дистанционных наблюдений;
- оценки площадей, пройденных огнем, с использованием спутниковых данных различного пространственного разрешения;
- оценки повреждений лесного покрова, вызванного лесными пожарами;
- автоматизированного ежегодного картирования лесного покрова.

В данной работе мы лишь кратко обсудим особенности данных решений.

Технология сбора и интеграции информации об отдельных пожарах, получаемой на основе детектирования участков горения, ориентирована на организацию автоматизированного анализа «горячих точек», выявленных различными системами наблюдений в различные моменты времени, и их агрегирования в объекты (пожары). Для систем мониторинга пожаров, задачей которых является не только определение зон возгорания, но и слежение за динамикой конкретного пожара, оценка сценариев его развития, возникающих возможных угроз, а также анализ последствия действия пожаров, решение данной задачи является основой построения фактически всех процессов в системе. Не решив подобную задачу, невозможно использовать спутниковую информацию, например, провести оценку площадей, пройденных огнем, осуществить сопоставление информации о конкретном пожаре, поступающей из разных источников, определить место возникновения пожара и воз-

можную причину его возникновения, определить, какие территории прошел пожар и в зоне ответственности каких служб он действовал.

При относительной внешней простоте поставленной задачи для решения ее на практике требуется разработка специальной технологии анализа данных, которая позволяла бы автоматически получать информацию о детектированных горячих точках из различных источников (космических аппаратов и центров обработки данных), объединять эти точки в пожары, автоматически рассчитывать различные характеристики пожаров (площади, типы территорий, пройденных огнем, ближайшие объекты инфраструктуры, которым может угрожать пожар, и расстояние до них и т.д.), вести базу данных о пожарах и обеспечивать возможность оперативного представления информации о пожарах по различным территориям для расчета статистики и подготовки отчетов. При этом следует отметить, что поскольку процесс получения информации о пожаре является достаточно сложным, и пожары являются достаточно динамичными объектами, при разработке технологии следует учитывать, что информация, поступающая из различных источников, может приходить не в последовательности проведенных наблюдений, а пожары могут объединяться, создавать сложные структуры, переходить из одних зон ответственности в другие и т.д. Поэтому создание надежно работающей технологии, автоматически решающей все возникающие в процессе мониторинга проблемы, – достаточно сложная задача. Она решается сегодня в мире лишь в единичных системах.

В ИСДМ-Рослесхоз данные проблемы решены с использованием специальной автоматизированной технологии обработки данных, созданной в ИКИ РАН. Описание различных элементов этой технологии можно найти, в частности, в работах (Барталев и др., 2012; Галеев и др., 2005, 2006; Bartalev et al., 2013; Флитман и др., 2011). Изначально технология интеграции информации о пожарах была ориентирована на использование информации, получаемой прибором MODIS, установленном на спутниках Terra и Aqua. В настоящее время она расширена для работы с данными, поступающими от других спутниковых систем.

Технология автоматической интеграции информации, поступающей от различных спутниковых систем. Одним из существенных преимуществ ИСДМ-Рослесхоз является реализованная в ней технология работы с данными, поступающими от различных спутниковых систем наблюдения и космических аппаратов (см. табл. 1). Эта технология позволяет в едином стиле организовать автоматизированную обработку данных, поступающих в информационные узлы системы, их хранение и представление пользователям. Это позволяет специалистам, работающим с системой, иметь возможность оперативно получать и анализировать различную информацию, используя картографические интерфейсы системы. Высокий уровень стандартизации процессов организации получения, обработки, архивации и представления информации позволяет достаточно просто включать в систему потоки новых данных ДЗЗ. Это с одной стороны позволяет увеличить частоту наблюдения отдельных территорий, а с другой стороны обеспечить возможность работы с информацией различного пространственного разрешения. Реализация данной технологии в ИСДМ-Рослесхоз также основана на разработках ИКИ РАН, ориентированных на создание автома-

тизированных систем сбора, обработки, архивации и распространения спутниковых данных и результатов их обработки (Барталев и др., 2012; Галеев и др., 2005, 2006; Bartalev et al., 2013; Флитман и др., 2011).

Методы прогностического моделирования динамики пожаров на основе данных дистанционных наблюдений. Одной из задач мониторинга пожаров является прогноз динамики их развития и оценка возникающих при этом потенциальных угроз, что может быть обеспечено моделированием распространения очагов горения. К настоящему времени создано множество моделей развития пожаров, предназначенных для разных условий и описывающих различные аспекты процессов горения (Гришин, 1992; Доррер и др., 2011; Finney., 1998; Tymstra et al., 2010; Forestry., 1992). Вместе с тем, существующие модели развития пожаров крайне редко используются в практике лесопожарной службы России для оперативного прогнозирования распространения огня. Это, прежде всего, связано с отсутствием для всей территории России необходимых для моделирования динамики пожаров входных данных. Следует отметить, что в современных условиях практически единственным инструментом, обеспечивающим оперативный сбор информации о пожарах на больших территориях, являются методы дистанционного зондирования со спутников. Вместе с тем, большинство существующих моделей распространения пожаров плохо адаптированы к работе с данными о состоянии пожара и горючих материалов, полученными по данным дистанционного зондирования. Это приводит к необходимости развития методов прогноза динамики пожаров, основанных на ассимиляции в существующие модели данных дистанционного зондирования и результатов их обработки. Такие методы в последние годы активно разрабатываются в ИКИ РАН (Хвостиков и др., 2012). Разработанный в составе ИСДМ-Рослесхоз метод прогнозирования развития пожаров основан на использовании модели CFFBPS (Forestry, 1992). Получили развитие в ИСДМ-Рослесхоз и методы вероятностной оценки угроз от пожаров на основе стохастического моделирования. На базе разработанных методов созданы и интегрированы в ИСДМ-Рослесхоз инструменты, позволяющие специалистам лесопожарных служб оперативно оценивать возможные варианты развития пожаров (Котельников, 2012).

Технология оценки пройденной огнем площади с использованием спутниковых данных различного пространственного и временного разрешения. Получение информации о пройденной огнем площади входит в число основных функций ИСДМ-Рослесхоз. Разработанная для решения этой задачи в составе ИСДМ-Рослесхоз технология призвана обеспечить, с учетом ограничений современных систем дистанционного зондирования, максимально оперативное получение информации при наивысшей ее точности, что требует комплексного использования данных нескольких спутников, отличающихся временным и пространственным разрешением. Для гарантированного получения оперативной информации о пройденной огнем площади необходимо использовать данные относительно низкого пространственного разрешения, в то время как для более точных оценок можно использовать данные достаточно высокого пространственного разрешения, которые поступают в систему, как правило, со значительными задержками. Наличие в составе ИСДМ-Рослесхоз данных различного пространственного и временного разрешения позволило разработать

технологии интегрированной оценки пройденной огнем площади. Технология интегрированной оценки основана на совместном использовании спутниковых данных, получаемых системами MODIS и Landsat-TM/ETM+, и включает комплексирование трех типов оценок площади пожаров, отличающихся уровнями оперативности и точности. Наиболее оперативная оценка площади пожара основана на пространственно-временной агрегации результатов детектирования действующих пожаров по данным MODIS с пространственным разрешением около 1 км. Последующая уточненная оценка площади пожаров получается за счет дополнительного использования данных MODIS пространственного разрешения 230 м и предполагает выявление участков поврежденного огнем растительного покрова на основе анализа изменений его спектрально-отражательных характеристик. Наиболее точная оценка площади пожаров основана на дополнительном использовании изображений Landsat-TM/ETM+ с пространственным разрешением около 30 м. Разработанная технологическая схема предполагает комплексирование на уровне отдельных пожаров трех различных типов данных путем использования потенциально наиболее точной оценки из всех доступных на текущий момент времени. С появлением в ИСДМ-Рослесхоз данных отечественной спутниковой системы КМСС-Метеор-М, имеющей пространственное разрешение около 50 м, открывается новая возможность повышения точности и полноты информации о пройденной огнем площади. Подробное описание принципов построения данной технологии и получаемых с ее использованием результатов представлено в работах (Барталев и др., 2009, 2012, 2014; Bartalev et al., 2013; Кашницкий и др. 2015).

Технология оценки степени повреждения лесов пожарами. Обеспечиваемая средствами ИСДМ-Рослесхоз оценка степени повреждения лесов пожарами позволяет получать информацию о нанесенном ими экономическом и экологическом ущербе. Разработанная в составе ИСДМ-Рослесхоз технология оценки степени повреждения лесов основана на использовании временных рядов данных MODIS и предусматривает предварительное получение статистической нормы спектрально-отражательных характеристик лесов по данным наблюдений в течение пяти предшествующих пожару лет (Стыценко и др., 2013; Барталев и др., 2015). Положенный в основу технологии метод предполагает использование предварительно полученных регрессионных зависимостей между спектрально-отражательными характеристиками лесов и показателями их состояния, оцениваемыми на тестовых участках в ходе наземных обследований поврежденных пожарами насаждений.

Технология картографирования растительного покрова. Регулярно актуализируемая информация о пространственном распределении различных типов растительного покрова необходима для осуществления целого ряда функций ИСДМ-Рослесхоз, включая оценку пожарной опасности, определение пройденной огнем площади и степени повреждения лесов, прогнозное моделирование развития очагов горения с оценкой возникающих угроз. Разработанная в составе ИСДМ-Рослесхоз технология картографирования растительного покрова основана на использовании алгоритма локально-адаптивной классификации LAGMA (Bartalev et al., 2014; Барталев и др., 2014). Использование указанного алгоритма позволяет обеспечить адаптивность классификатора к пространственным изменениям

физико-географических условий местности как одного из важнейших требований, предъявляемых к методам обработки спутниковых данных на больших территориях. Использование алгоритма LAGMA позволило на основе данных MODIS создать и ежегодно обновлять карту растительного покрова России с пространственным разрешением 230 м, включающую 22 тематических класса, 18 из которых характеризуют различные типы растительности (Барталев и др., 2011). Разработанная автоматизированная технология позволила сформировать по данным MODIS временной ряд ежегодных карт растительного покрова России за период 2000–2014 гг. Развитие и использование данной технологии также позволяет проводить картографирование различающихся преобладающей породой деревьев лесов на основе многолетних временных рядов данных MODIS, отражающих различия фенологической динамики различных пород (Жарко, Барталев, 2014).

Заключение

Таким образом, мы видим, что в настоящее время в ИСДМ-Рослесхоз создан достаточно функциональный технический комплекс, обеспечивающий работу со спутниковыми данными. За время своей эксплуатации (более 10 лет) комплекс показал высокую устойчивость в своей работе и возможность осуществления его достаточно простого развития по мере развития спутниковых систем и технологий обработки и работы с данными дистанционного зондирования. Это, на наш взгляд, подтверждает правильность выбранных решений по организации работы комплекса.

Особо следует отметить, что одним из правильных стратегических решений, принятых при создании системы, является то, что система опирается на имеющуюся в стране достаточно мощную инфраструктуру работы с данными дистанционного зондирования (прежде всего систему центров ФГБУ «НИЦ «Планета», развивающуюся в рамках различных целевых государственных программ Роскосмоса и Росгидромета). Это, в частности, позволяет сегодня системе работать с данными различных, в том числе российских космических аппаратов.

Кроме этого, на наш взгляд, опыт разработки и развития ИСДМ-Рослесхоз является очень хорошим примером быстрого внедрения различных научных разработок, выполняемых исследовательскими институтами в рамках различных научных программ и проектов научных фондов. Многие элементы, созданные, внедренные и действующие в настоящее время в системе, было бы невозможно создать без результатов, полученных в последние годы в различных научных проектах. В частности, при создании и развитии системы были использованы результаты следующих проектов и программ: Российской академии наук (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164), Минобрнауки (проекты 07.514.11.4037, 14.515.11.0007, № 14.515.11.0014, 14.515.11.0030), РФФИ (08-07-12093-офи, 11-07-12026-офи-м-2011, 11-07-12028-офи-м-2011, 13-07-00513, 13-05-41420-рго-а), РНФ (14-17-00389), Рослесхоза (контракты Р-11К-14/1, Р-7К-10/11-ИКИ, Р-7К-10/11-ИКИ, Р-7К-10/15-ИКИ).

Эти два фактора позволили разработчикам системы сосредоточить имеющиеся у них в целом достаточно ограниченные ресурсы на решении именно целевых задач системы с использованием возможностей уже действующей и постоянно развивающейся инфраструктуры дистанционного мониторинга, а также последних достижений технологий работы с данными дистанционного зондирования Земли из космоса.

На наш взгляд, именно такой подход позволил создать устойчиво действующую и постоянно развивающуюся систему дистанционного мониторинга природных пожаров. Учитывая охват территории, объем получаемой информации и уровень автоматизации ее обработки и использования, ИСДМ-Рослесхоз сегодня фактически стала в своем классе самой крупной и технологичной системой дистанционного мониторинга в мире.

Безусловно, основным достижением системы следует считать то, что она обеспечила возможность получения оперативной, однородной (сопоставимой) информации о лесных пожарах и их последствиях по всей территории Российской Федерации, что было бы невозможно реализовать другими методами.

В заключение также отметим, что выбранные подходы и архитектура построения системы и в дальнейшем позволят ей быстро развиваться за счёт простой интеграции в систему новых возможностей быстро появляющихся спутниковых систем наблюдения и технологий работы с данными дистанционного зондирования.

Литература

1. Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов Д.В., Захаров М.Ю., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Крашенинникова Ю.С., Лузян Е.А., 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 // Исследование Земли из космоса. 1998. № 3. С.89–95.
2. Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов Д.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 // Научные технологии. 2000. Т. 1. № 2. С.4–18.
3. Балашихин И.В., Халикова О.А., Бурцев М.А., Лузян Е.А., Матвеев А.М. Организация автоматического получения наборов информационных продуктов из центров архивации и распространения спутниковых и метеоданных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10. № 3. С.9-20.
4. Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лузян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.
5. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лузян Е.А., Стыценок Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9–27.
6. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лузян Е.А., Щетинский В.Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Выпуск 5. Т. 2. С. 419–429.
7. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лузян Е.А., Щетинский В.Е. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 97–105.
8. Барталев С.А., Златопольский А.А., Галеев А.А., Ефремов В.Ю., Лузян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В., Щербенко Е.В. Автоматизированное уточнение площадей, пройденных лесными пожарами, по данным приборов HRV, HRVI // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2009. Выпуск 6. Т. 2. С. 335–342.
9. Барталев С.А., Лузян Е.А., Стыценок Ф.В., Панова О.Ю., Ефремов В.Ю. Экспресс-картографирование повреждений лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. №. 1. С. 9–20.

10. Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83–94.
11. Беляев А.И., Коровин Г.Н., Лупян Е.А. Использование спутниковых данных в системе дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Выпуск 2. Т. 1. С. 20–29.
12. Беляев А.И., Коровин Г.Н., Лупян Е.А. Состояние и перспективы развития Российской системы дистанционного мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Выпуск 3. Т. 1. С. 341–350.
13. Галеев А.А., Ершов Д.В., Котельников Р.В., Лупян 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. 2006. Выпуск 3. Т. 1. С. 359–365.
14. Галеев А.А., Прошин А.А., Ершов Д.В., Тащилин С.А., Мазуров А.А. Организация хранения данных спутникового мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Выпуск 2. Т. 2. С. 367–371.
15. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. // Новосибирск: Наука, 1992, 406 с.
16. Данюлис Е.П., Жирин В.М., Сухих В.И., Эльман Р.И. Дистанционное зондирование в лесном хозяйстве. Москва: Издательство «Агропромиздат», 1989. 223 с.
17. Доррер Г.А., Коморовский В.С., Якимов С.П. Оценка и прогнозирование динамики крупных лесных пожаров // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. 2011. Вып. 2 (36). 16 с.
18. Егоров В.А., Ильин В.О., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В. Возможности построения автоматизированных систем обработки спутниковых данных на основе программного комплекса XV_SAT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 431–436.
19. Ершов Д.В., Ковганко К.А., Шуляк П.П. Современные возможности геоинформационной системы мониторинга лесных пожаров ГИС-ИСДМ Рослесхоз // Пожаровзрывобезопасность. Научно-технический журнал ООО «Издательство «Пожнаука». 2010. Т. 19. № 3. С. 38–46.
20. Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Тащилин С.А. Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Выпуск 1. Т. 1. С. 47–57.
21. Ефремов В.Ю., Балашов И.В., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Объединенный картографический интерфейс для работы с данными ИСДМ-Рослесхоз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 129–139.
22. Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Флитман Е.В. Управление и контроль работоспособности систем автоматизированной обработки спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Выпуск 1. Т. 1. С. 467–475.
23. Жарко В.О., Барталев С.А. Оценка распознаваемости древесных пород леса на основе спутниковых данных о сезонных изменениях их спектрально-отражательных характеристик // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 159–170.
24. Исаев А.С., Сухих В.И., Калашников и др. Аэрокосмический мониторинг лесов. М., Наука, 1991. 240 с.
25. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. Москва: Логос. 2001. 264 с.
26. Кашицкий А.В., И.В. Балашов, Е.А. Лупян., В.А. Толпин, И.А. Уваров, Е.А.. Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных информационных системах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 156–170.
27. Кашицкий А.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Барталев С.С., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Стыценко Ф.В. Оптимизация интерактивных процедур картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 7–16.
28. Кобец Д.А., Балашов И.В., Данилов И. Д., Лупян Е. А., Сычуглов И.Г., Толпин В.А. Использование VI-технологий для создания инструментов для анализа данных спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 17–27.
29. Коровин Г.Н., Андреев Н.А. Авиационная охрана лесов. М.: ВО «Агропромиздат». 1988, 223 с.
30. Коровин Г.Н., Барталев С.А. Интегрированная система мониторинга лесных пожаров // Лесное хозяйство. 1998. № 4. С. 45–48.
31. Котельников Р.В. Корицунов Н.А. Метеообеспечение в ИСДМ-Рослесхоз: перспективы // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Выпуск 1. 2010. С. 34–37.
32. Котельников Р.В., Сементин В.Л., Щетинский В.Е., Барталев С.А., Галеев А.А., Ефремов В.Ю., Козочкина А.А., Крашенинникова Ю.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А., Толпин В.А., Флитман Е.В., Ершов Д.В., Коровин Г.Н. Применение информационной системы дистанционного мониторинга «ИСДМ-Рослесхоз» для определения пожарной опасности в лесах Российской Федерации: Учебное пособие. Издание 6. Пушкино: ФБУ «Авиалесоохрана», 2012. 359 с.
33. Котельников Р.В., Флитман Е.В. Технология идентификации спутниковых данных о лесных пожарах с данными наземного и авиационного мониторинга с использованием ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Выпуск 4. Т. I. С. 162–166.
34. Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов, Кашицкий А.В., Кобец Д.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Матвеев А.М. Назиров Р.Р., Прошин А.А., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 53–75.
35. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В. Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 81–88.

36. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 26–43.
37. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В., Ершов 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. Аналитический обзор. Новосибирск: СО РАН. ИОА. ГПНТБ, 2003г. 135 с.
38. Лупян Е.А., Милехин О.Е., Антонов В.Н., Крамарева Л.С., Бурцев М.А., Балашов И.В., Толпин В.А., Соловьев В.И. Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ “ПЛАНЕТА” // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 89–97.
39. Новикова Н.Н., Пахомов Л.А., Пермитина Л.И., Куревлева Т.Г., Бекренев О.В. Возможности научного центра оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) по проведению оперативного спутникового мониторинга состояния окружающей среды по данным Российских и зарубежных космических систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. № 1. С. 221–227.
40. Носенко Ю.И., Лошкарев П.А. Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ – проблемы, решения, перспективы (часть 1) // Геоматика. 2010. № 3. С. 35–43.
41. Носенко Ю.И., Новиков М.В., Заичко В.А., Ромашкин В.В., Лошкарев П.А. Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ – проблемы, решения, перспективы (часть 2) // Геоматика. 2010. № 4. С. 31–36.
42. Подольская А.С., Ершов Д.В. Геоинформационная технология актуализации данных территориального деления лесного фонда для мониторинга пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. Научно-технический журнал ООО «Издательство «Пожнаука». 2010. Т. 19. № 2. С. 45–49.
43. Пономарев Е., Сухинин А. Использование информации с ИСЗ NOAA для пространственной оценки пожарной опасности лесных территорий // Сиб. экол. журн. 2001. № 5. С. 577–589.
44. Стыценок Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А. Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 1. С. 254–266.
45. Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 93–108.
46. Флитман Е.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Галеев А.А., Егоров В.А., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Прошин А.А. Построение системы работы с данными прибора MODIS для решения задач мониторинга лесных пожаров и их последствий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 127–138.
47. Хвостиков С.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А. Региональная оптимизация параметров прогнозной модели природных пожаров и оперативное моделирование динамики их развития с использованием данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С. 91–100.
48. Шуляк П.П., Ершов Д.В., Коровин Г.Н. Контроль динамики крупных лесных пожаров и оценка эффективности и своевременности их обнаружения и тушения // Лесоведение. 2014. №5. С. 30–41.
49. Abushenko N.A., Bartalev S.A., Belyaev A.I., Ershov D.V., Zakharov M.Y., Loupian E.A., Korovin G.N., Koshelev V.V., Krasheninnikova Yu. S., Mazurov A.A., Min'ko N.P., Nazipov R.R., Semenov S.M., Tashchilin S.A., Flitman E.V., Shchetinsky V.Y. Near Real-time Satellite Monitoring of Russia for Forest Fire Protection // Mapping Science and Remote Sensing. 1999. Vol. 36. № 1. P. 54–61.
50. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V. Yu., Flitman E.V., Loupian E.A., Stytsenko F.V. Assessment of Burned Forest Areas over the Russian Federation from MODIS and Landsat-TM/ETM+ Imagery // In F. Achard & M.C. Hansen (Eds.) Global Forest Monitoring from Earth Observation, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. CRC Press. P. 259–286.
51. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A. A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data // Remote Sensing Letters. 2014. 5(1). P. 55–64.
52. Finney M. A. FARSITE: Fire Area Simulator—model development and evaluation. // Res. Pap. RMRSRP-4 1998. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.
53. Forestry Canada Fire Danger Group. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. // Inf. Rep. ST-X-3, 1992. For. Can., Ottawa, Ont.
54. Giglio L. MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide. Department of Geographical Sciences University of Maryland. 2013. 61 p.
55. Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Koshelev V.V., Tashchilin S.A., Tatarsnikov A.V., Csaszar I., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I., Aphonin S.V., Belov V.V., Matvienko G.G., Loboda T.V. Satellite Monitoring of Forest Fires in Russia at Federal and Regional Levels // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. 11. P. 113–145.
56. Tymstra C., Bryce R., Wotton B., Armitage O. Development and Structure of Prometheus: The Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model. // Natural Resources of Canada, Canadian Forest Service. 2010. Northern Forest Center, Edmonton, AB.

Satellite data processing management in Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry

E.A. Loupian¹, S.A. Bartalev¹, D.V. Ershov², R.V. Kotel'nikov³, I.V. Balashov¹,
M.A. Burtsev¹, V.A. Egorov¹, V.Yu. Efremov¹, V.O. Zharko¹, K.A. Kovganko²,
P.A. Kolbudaev¹, Yu.S. Krasheninnikova¹, A.A. Proshin¹, A.A. Mazurov¹, I.A. Uvarov¹,
F.B. Stytsenko¹, I.G. Sychugov¹, E.V. Flitman¹, S.A. Khvostikov¹, P.P. Shulyak²

¹ Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia

E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru

² Center for Forest Ecology and Productivity RAS, Moscow 117997, Russia

E-mail: cepfras@cepl.rssi.ru

³ Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation
Moscow 117997, Russia

E-mail: minprirody@mnr.gov.ru

The paper discusses current capabilities of Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry put into operation in 2005. ISDM-Rosleskhoz enables delivery of operational uniform (comparable) information required for monitoring forest fires and their aftermaths on the whole territory of the Russian Federation. The main purposes of ISDM-Rosleskhoz are providing information and analysis tools for: validation of information on forest fires or danger of forest fire; information support of decision making concerning resources logistics in fires monitoring and firefighting in forest; control of Russian Federation's regional governmental institutions activity in forest fire safety; estimation of forest fire aftermaths. The paper gives an overview of current system's technical capabilities of satellite data processing. Principal satellite data management techniques are described. Features of the system's major remote monitoring data processing blocks and the technologies used for their development are described in the paper. We focus on those features of the system and its blocks that were implemented due to the new achievements of the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (RAS IKI) in the field of technologies and methods of remote sensing data processing and analysis.

Keywords: forest fires remote monitoring, remote sensing, information systems, distributed data processing, satellite data processing, web interfaces, extra large data archives, satellite data

References

1. Abushenko N.A., Bartalev S.A., Belyaev A.I., Ershov D.V., Zakharov M.Yu., Korovin G.N., Koshelev V.V., Krasheninnikova Yu.S., Loupian E.A., Mazurov A.A., Min'ko N.P., Nazirov R.R., Semenov S.M., Tashchilin S.A., Flitman E.V., Shchetinskii V.E., Opyt i perspektivy organizatsii operativnogo sputnikovogo monitoringa territorii Rossii v tselyakh sluzhby pozharookhrany lesov (Experience and Perspectives of Near-Realtime Satellite Monitoring of Russia's Territory for the Needs of Forest Fires Services), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 1998, No. 3, pp. 89–95.
2. Abushenko N.A., Bartalev S.A., Belyaev A.I., Ershov D.V., Korovin G.N., Koshelev V.V., Loupian E.A., Krasheninnikova Yu.S., Mazurov A.A., Min'ko N.P., Nazirov R.R., Proshin A.A., Flitman E.V., Sistema sbora, obrabotki i dostavki sputnikovyykh dannykh dlya resheniya operativnykh zadach sluzhby pozharookhrany lesov Rossii (The System for Satellite Data Collection, Processing and Distribution to Solve the Tasks of Forest Fire Protection Service of Russia), *Naukoemkie tekhnologii*, 2000, Vol. 1, No. 2, pp. 4–18.
3. Balashov I.V., Khalikova O.A., Burtsev M.A., Loupian E.A., Matveev A.M., Organizatsiya avtomaticheskogo polucheniya naborov informatsionnykh produktov iz tsentrov arkhivatsii i rasprostraneniya sputnikovyykh i meteorodannykh (Organization of automatic data acquisition from satellite and meteorological data and distribution centers), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 3, pp. 9–20.
4. Bartalev S.A., Egorov V.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A., Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii po dannym spektrometriya MODIS (Mapping of Russia's Vegetation Cover Using MODIS Satellite Spectroradiometer Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 4, pp. 285–302.
5. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V., Otsenka ploshchadi pozharov na osnove kompleksirovaniya sputnikovyykh dannykh razlichnogo prostranstvennogo razresheniya MODIS i Landsat-TM/ETM+ (Integrated Burnt Area Assessment Based on Combine Use of Multi-resolution MODIS and Landsat-TM/ETM+ Satellite Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 9–27.
6. Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Shchetinskii V.E., Informatsionnaya sistema distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva RF (sostoyaniye i perspektivy razvitiya) (Forest fires remote monitoring information system of the Russian Federal Agency for Forestry (status and development prospects)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, Issue 5, Vol. 2, pp. 419–429.

7. Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Shchetinskii V.E., Osnovnye vozmozhnosti i struktura informatsionnoi sistemy distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva (ISDM Rosleskhoz) (The Main Functionalities and Structure of the Forest Fire Satellite Monitoring Information System of Russian Federal Forestry Agency (ISDM-Rosleshoz)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 2, pp. 97–105.
8. Bartalev S.A., Zlatopol'skii A.A., Galeev A.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Flitman E.V., Shcherbenko E.V., Avtomatizirovannoe utocnenie ploshchadei, proidennykh lesnymi pozharemi, po dannym priborov HRV, HRVI (More Precise Automatic Burnt out Forest Places Space Detection Using HVR, HRVIR Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, Issue 6, Vol. 2, pp. 335–342.
9. Bartalev S.A., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Panova O.Yu., Efremov V.Yu., Ekspress-kartografirovaniye povrezhdenii lesov Rossii pozharemi po sputnikovym dannym Landsat (Rapid Mapping of Forest Burnt Areas over Russia Using Landsat Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 9–20.
10. Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Loupian E.A., Sputnikovaya otsenka gibeli lesov Rossii ot pozharov (Russia's forest fire damage estimation), *Lesovedenie*, 2015, No. 2, pp. 83–94.
11. Belyaev A.I., Korovin G.N., Loupian E.A., Ispol'zovanie sputnikovyykh dannykh v sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov MPR RF (Using the satellite data in the systme of forest fires remote monitoring of Russian Agency for Forest Resources), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Issue 2, Vol. 1, pp. 20–29.
12. Belyaev A.I., Korovin G.N., Loupian E.A., Sostoyanie i perspektivy razvitiya Rossiiskoi sistemy distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov (Russian forest fires remote monitoring system development state and perspectives), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2006, Issue 3, Vol. 1, pp. 341–350.
13. Galeev A.A., Ershov D.V., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Flitman E.V., Avtomatizirovannaya sistema formirovaniya operativnoi otchetnosti o deistvuyushchikh lesnykh pozharakh na osnove sputnikovyykh dannykh (Automated System for Operative Active Fire Reporting Based on Satellite Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2006, Issue 3, No. 1, pp. 359–365.
14. Galeev A.A., Proshin A.A., Ershov D.V., Tashchilin S.A., Mazurov A.A., Organizatsiya khraneniya dannykh sputnikovogo monitoringa lesnykh pozharov (Forest fires satellite monitoring data storage management), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Issue 2, Vol. 2, pp. 367–371.
15. Grishin A.M., *Matematicheskoe modelirovanie lesnykh pozharov i novye sposoby bor'by s nimi* (Forest fires mathematical modeling and new methods of their elimination), Novosibirsk: Nauka, 1992, 406 p.
16. Danyulis E.P., Zhirin V.M., Sukhikh V.I., El'man R.I., *Distantsionnoe zondirovanie v lesnom khozyaistve* (Remote sensing in forestry), Moscow: Agropromizdat, 1989, 223 p.
17. Dorrer G.A., Komorovskii V.S., Yakimov S.P., Otsenka i prognozirovaniye dinamiki krupnykh lesnykh pozharov (Estimation and prediction of large forest fires dynamics), *Technology of technosphere safety: Electronic Journal*, 2011, Issue 2, Vol. 36, 16 p.
18. Egorov V.A., Il'in V.O., Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Vozmozhnosti postroeniya avtomatizirovannykh sistem obrabotki sputnikovyykh dannykh na osnove programmnoy kompleksa XV SAT (Possibilities of Developing Automated Satellite Data Processing Systems on the Basis of XV SAT Software Package), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 1, pp. 431–436.
19. Ershov D.V., Kovganko K.A., Shulyak P.P., Sovremennye vozmozhnosti geoinformatsionnoi sistemy monitoringa lesnykh pozharov GIS-ISDM Rosleskhoz (Contemporary capabilities of "GIS-ISDM-Rosleskhoz" geographical information system of forest fires), *Fires and explosions safety*, Moscow, 2010, Vol. 19, No. 3, pp. 38–46.
20. Ershov D.V., Korovin G.N., Loupian E.A., Mazurov A.A., Tashchilin S.A., Rossiiskaya sistema sputnikovogo monitoringa lesnykh pozharov (Russian forest fires satellite monitoring system), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, Issue 1, Vol. 1, pp. 47–57.
21. Efremov V.Yu., Balashov I.V., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Flitman E.V., Ob"edinennyy kartograficheskii interfeis dlya raboty s dannymi ISDM Rosleskhoz (Integrated Mapping Interface for Operations with ISDM-Rosleskhoz Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 129–139.
22. Efremov V.Yu., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Flitman E.V., Upravlenie i kontrol' rabotosposobnosti sistem avtomatizirovannoy obrabotki sputnikovyykh dannykh (Operation Control and Management of Distributed Satellite Data Processing Systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, Issue 1, No. 1, pp. 467–475.
23. Zharko V.O., Bartalev S.A., Otsenka raspoznavаемости drevesnykh porod lesa na osnove sputnikovyykh dannykh o sezonnykh izmeneniyakh ikh spektral'no-otrazhatel'nykh kharakteristik (Forest tree species recognizability assessment based on satellite data on their spectral reflectance seasonal changes), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 3, pp. 159–170.
24. Isaev A.S., Sukhikh V.I., Kalashnikov et al., *Aerokosmicheskii monitoring lesov* (Aerospace forest monitoring), Moscow: Nauka, 1991, 240 p.
25. Kashkin V.B., Sukhinin A.I., *Distantsionnoe zondirovanie Zemli iz kosmosa. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* (Earth remote sensing from space. Digital image processing), Moscow: Logos, 2001, 264 p.
26. Kashnitskii A.V., I.V. Balashov, E.A. Loupian., V.A. Tolpin, I.A. Uvarov, E.A., Sozdanie instrumentov dlya udalennoy obrabotki sputnikovyykh dannykh v sovremennykh informatsionnykh sistemakh (Development of software tools for satellite data remote processing in contemporary information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 156–170.
27. Kashnitskii A.V., Loupian E.A., Bartalev S.A., Bartalev S.S., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Stytsenko F.V. Optimizatsiya interaktivnykh protsedur kartografirovaniya garei v informatsionnykh sistemakh distantsionnogo monitoringa prirodnykh pozharov (Optimization of burn mapping interactive procedures in remote fire monitoring information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 4, pp. 7–16.

28. Kobets D. A., Balashov I.V., Danilov I. D., Loupian E. A., Sychugov I.G., Tolpin V.A. Ispol'zovanie VI-tekhnologii dlya sozdaniya instrumentov dlya analiza dannykh sputnikovogo monitoringa (Using BI technologies to create analysis tools for satellite remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 4, pp. 17–27.
29. Korovin G.N., Andreev N.A., *Aviatsionnaya okhrana lesov* (Aerial forest protection), Moscow: Agropromizdat, 1988, 223 p.
30. Korovin G.N., Bartalev S.A., Integrirovannaya sistema monitoringa lesnykh pozharov (Forest fires monitoring integrated system), *Forestry*, 1998, No. 4, pp. 45–48.
31. Kotelnikov R.V., Korshunov N.A., Meteobespechenie v ISDM-Rosleskhov: Problemy i perspektivy (Meteorological support in ISDM-Rosleskhov: Problems and perspectives), *Fires and explosions safety*, Issue 1, 2010, pp. 34–37.
32. Kotelnikov R.V., Sementin V.L., Shchetinskii V.E., Bartalev S.A., Galeev A.A., Efremov V.Yu., Kozochkina A.A., Krashenninnikova Yu.S., Loupian E.A., Mazurov A.A., Proshin A.A., Tolpin V.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., *Primenenie informatsionnoi sistemy distantsionnogo monitoringa «ISDM-Rosleskhov dlya opredeleniya pozharnoi opasnosti v lesakh Rossiiskoi Federatsii: Uchebnoe posobie*. (Using the ISDM-Rosleskhov information system for determining fire danger in forests of the Russian Federation. Issue 6), Pushkino: Avialesookhrana, 2012, 359 p.
33. Kotelnikov R.V., Flitman E.V., Tekhnologiya identifikatsii sputnikovyykh dannykh o lesnykh pozharakh s dannymi nazemnogo i aviatsionnogo monitoringa s ispol'zovaniem ISDM-Rosleskhov (Technology for identification of forest fires satellite data with ground truth and aerial monitoring data using ISDM-Rosleskhov), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2007, Issue 4, Vol. 1, pp. 162–166.
34. Loupian E.A., Balashov I.V., Burtsev M.A., Efremov, Kashnitski A.V., Kobets D.A., Krashenninnikova Yu.S., Mazurov A.A., Matveev A.M. Nazirov R.R., Proshin A.A., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Flitman E.V. Sozdanie tekhnologii postroeniya informatsionnykh sistem distantsionnogo monitoringa (Development of technologies for creation of remote monitoring information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 53–75.
35. Loupian E.A., Mazurov A.A., Nazirov R.R., Proshin A.A., Flitman E.V., Tekhnologiya postroeniya avtomatizirovannykh informatsionnykh sistem sbora, obrabotki, khraneniya i rasprostraneniya sputnikovyykh dannykh dlya resheniya nauchnykh i prikladnykh zadach (Development of Automated Information Systems for Scientific and Application Tasks), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 1, pp. 81–88.
36. Loupian E.A., Mazurov A.A., Nazirov R.R., Proshin A.A., Flitman E.V., Krashenninnikova Yu.S., Tekhnologii postroeniya informatsionnykh sistem distantsionnogo monitoringa (Technologies for Building Remote Monitoring Information Systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 26–43.
37. Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Koshelev V.V., Tashchilin S.A., Tatarnikov A.V., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I., Grishin A.M., Afonin S.V., Belov V.V., Gridnev Yu.V., Matvienko G.G., Solov'ev V.S., Antonov V.N., Tkachenko V.A., *Sputnikovyi monitoring lesnykh pozharov v Rossii. Itogi. Problemy. Perspektivy. Analiticheskii obzor* (Forest fires satellite monitoring in Russia. Results. Problems. Perspectives. Analytical overview), Novosibirsk: Institute of Atmospheric Optics, State Public Scientific Technological Library, 2003, Issue 68, 134 p.
38. Loupian E.A., Milekhin O.E., Antonov V.N., Kramareva L.S., Burtsev M.A., Balashov I.V., Tolpin V.A., Solov'ev V.I., Sistema raboty s ob"edinennymi informatsionnymi resursami, poluchaemymi na osnove sputnikovyykh dannykh v tsentrakh NITs "PLANETA" (System of operation of joint information resources based on satellite data in the Planeta Research Centers for Space Hydrometeorology), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, No. 12, pp. 89–97.
39. Novikova N.N., Pakhomov L.A., Permitina L.I., Kurevleva T.G., Bekrenev O.V., Vozmozhnosti nauchnogo tsentra operativnogo monitoringa Zemli (NTs OMZ) po provedeniyu operativnogo sputnikovogo monitoringa sostoyaniya okruzhayushchei sredy po dannym Rossiiskikh i zarubezhnykh kosmicheskikh sistem (Capabilities of the Research Center for Earth Operative Monitoring (NTs OMZ) in environment monitoring with Russian and foreign space systems data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 1, pp. 221–227.
40. Nosenko Yu.I., Loshkarev P.A., Edinaya territorial'no-raspredelennaya informatsionnaya sistema DZZ – problemy, resheniya, perspektivy (chast' 1) (Joint spatially distributed Earth remote sensing information system – problems, solutions, perspectives (part 1)), *Geomatika*, 2010, No. 3, pp. 35–43.
41. Nosenko Yu.I., Novikov M.V., Zaichko V.A., Romashkin V.V., Loshkarev P.A., Edinaya territorial'no-raspredelennaya informatsionnaya sistema DZZ – problemy, resheniya, perspektivy (chast' 2) (Joint spatially distributed Earth remote sensing information system – problems, solutions, perspectives (part 2)), *Geomatika*, 2010, No. 4, pp. 31–36.
42. Podolskaya A.S., Ershov D.V., Geoinformatsionnaya tekhnologiya aktualizatsii dannykh territorial'nogo deleniya lesnogo fonda dlya monitoringa pozharnoi opasnosti (Geographical information technology for forest fund territorial division data update for fire danger monitoring), *Fires and explosions safety*, Moscow, 2010, Vol. 19, No. 2, pp. 45–49.
43. Ponomarev E., Sukhinin A., Ispol'zovanie informatsii s ISZ NOAA dlya prostranstvennoi otsenki pozharnoi opasnosti lesnykh territorii (Using the NOAA satellites data for forest areas fire danger spatial estimate), *Siberian Ecological Journal*, 2001, No. 5, pp. 577–589.
44. Stytsenko F.V., Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Metod otsenki stepeni povrezhdeniya lesov pozharami na osnove sputnikovyykh dannykh MODIS (Post-Fire Forest Tree Mortality Assessment Method Using MODIS Satellite Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 1, pp. 254–266.
45. Tolpin V.A., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Proshin A.A., Uvarov I.A., Flitman E.V., Sozdanie interfeisov dlya raboty s dannymi sovremennykh sistem distantsionnogo monitoringa (sistema GEOSMIS) (The GEOSMIS System: Developing Interfaces to Operate Data in Modern Remote Monitoring Systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 93–108.

46. Flitman E.V., Balashov I.V., Burtsev M.A., Galeev A.A., Egorov V.A., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Mazurov A.A., Matveev A.M., Proshin A.A., Postroenie sistemy raboty s dannymi pribora MODIS dlya resheniya zadach monitoringa lesnykh pozharov i ikh posledstviy (Organization of the MODIS Instrument Data Processing System for the Tasks of Monitoring Forest Fires and Their Aftereffects), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 127–138.
47. Khvostikov S.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Regional'naya optimizatsiya parametrov prognoznnoi modeli prirodnykh pozharov i operativnoe modelirovanie dinamiki ikh razvitiya s ispol'zovaniem dannykh sputnikovykh nablyudenii (Regional Scale Optimization of Wildfire Model Parameters and Modeling of Wildfire Dynamic Using Remote Sensing Data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 91–100.
48. Shulyak P.P., Ershov D.V., Korovin G.N., Kontrol' dinamiki krupnykh lesnykh pozharov i otsenka effektivnosti i svoevremennosti ikh obnaruzheniya i tusheniya (Control of large forest fires dynamics and estimating the efficiency and promptness of their detection and fighting), *Lesovedenie*, 2014, No. 5, pp. 30–41.
49. Abushenko N.A., Bartalev S.A., Belyaev A.I., Ershov D.V., Zakharov M.Y., Loupian E.A., Korovin G.N., Koshelev V.V., Krasheninnikova Yu. S., Mazurov A.A., Min'ko N.P., Nazipov R.R., Semenov S.M., Tashchilin S.A., Flitman E.V., Shchetinsky V.Y., Near Real-time Satellite Monitoring of Russia for Forest Fire Protection, *Mapping Science and Remote Sensing*, 1999, Vol. 36, No. 1, pp. 54–61.
50. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V. Yu., Flitman E.V., Loupian E.A., Stytsenko F.V., *Assessment of Burned Forest Areas over the Russian Federation from MODIS and Landsat-TM/ETM+ Imagery*, In F. Achard & M.C. Hansen (Eds.) *Global Forest Monitoring from Earth Observation*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013, CRC Press, pp. 259–286.
51. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A., A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data, *Remote Sensing Letters*, 2014, Vol. 5, No. 1, pp. 55–64.
52. Finney M. A., *FARSITE: Fire Area Simulator—model development and evaluation*, Res. Pap. RMRSRP-4, 1998, Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.
53. *Forestry Canada Fire Danger Group, Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System*, Inf. Rep. ST-X-3, 1992, For. Can., Ottawa, Ont.
54. Giglio L., *MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide*, Department of Geographical Sciences University of Maryland, 2013, 61 p.
55. Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Koshelev V.V., Tashchilin S.A., Tatarnikov A.V., Csiszar I., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I., Afonin S.V., Belov V.V., Matvienko G.G., Loboda T.V., Satellite Monitoring of Forest Fires in Russia at Federal and Regional Levels, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, No. 11, pp. 113–145.
56. Tymstra C., Bryce R., Wotton B., Armitage O., Development and Structure of Prometheus: The Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model, *Natural Resources of Canada, Canadian Forest Service*, 2010, Northern Forest Center, Edmonton, AB.