

УДК 630\*161:614.842

## КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ: ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ

© 2019 г. Р. В. Котельников<sup>а, \*</sup>, Е. А. Лупян<sup>б</sup>, С. А. Барталев<sup>б</sup>, Д. В. Ершов<sup>с</sup>

<sup>а</sup>Филиал ФБУ ВНИИЛМ “Центр лесной пирологии”,  
Россия, 660062, Красноярский край, г. Красноярск, ул. Крупской, 42

<sup>б</sup>Институт космических исследований РАН,  
Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

<sup>с</sup>Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,  
Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

\*E-mail: kotelnikovrv@firescience.ru

Поступила в редакцию 17.11.2018 г.

После доработки 26.01.2019 г.

Принята к публикации 05.06.2019 г.

В статье рассмотрены предпосылки и краткая история создания Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). Проведен детальный анализ влияния различных факторов на формирование и развитие системы. Показано, что в настоящее время ИСДМ-Рослесхоз позволяет получать объективную информацию о пожарах, действующих на территории России, и обеспечивать многоуровневую систему контроля по их предупреждению и тушению, в том числе, проверку достоверности предоставляемых регионами сведений о пожарах и их последствиях. Описан технологический прорыв в развитии системы в 2015–2018 гг., связанный с вводом в эксплуатацию новых спутниковых систем дистанционного зондирования Земли. Это позволило существенно расширить возможности ИСДМ-Рослесхоз, обеспечив, в частности, повышение регулярности наблюдений и возможность гарантированного получения спутниковых данных достаточно высокого пространственного разрешения (от 10 до 50 м) для уточнения площади, пройденной конкретным пожаром. Выполнен обзор текущих задач системы и отмечено, что одной из перспективных задач развития ИСДМ-Рослесхоз, для которой в настоящий момент имеется вся технологическая основа, является внедрение технологии принятия управленческих решений определения необходимости тушения конкретного лесного пожара с учетом информации, полученной на основе оперативного моделирования его развития и возникающих при этом угроз. В работе фактически обосновано, что ИСДМ-Рослесхоз является технологической платформой для создания комплексной системы дистанционного мониторинга лесных ресурсов России, которая может быть создана в ближайшие годы на основе современных методов и технологий спутникового мониторинга лесов.

*Ключевые слова:* космический мониторинг, лесные пожары, ИСДМ-Рослесхоз.

**DOI:** 10.1134/S0024114819050048

Российская Федерация является мировым лидером по лесным ресурсам, охватывая – более 20% всех лесных биотопов. Площадь земель, на которых расположены леса в Российской Федерации, составляет более 1.18 млрд га. Учитывая протяженность территории страны, разнообразие природно-климатических и антропогенных факторов, приказом Минприроды России от 18.08.2014 № 367 выделены 42 лесных района, каждый из которых существенно отличается условиями использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов. С учетом непрерывно происходящих в лесах изменений требуется организация их регулярного мониторинга. При этом для ряда задач (в первую очередь, мониторинг пожарной опасности, и, в меньшей степени, санитарного состояния лесов) важна оперативность поступления данных.

В подобных условиях основным методом мониторинга, несомненно, является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) (Коровин и др., 1994; Gutman, Bartalev, Korovin, 1995; Гарбук, Гершензон, 1997; Абушенко и др., 1998, 2000b; Кашкин, Сухинин, 2001).

Дистанционный мониторинг лесных пожаров фактически начался еще в конце 30-х годов прошлого века с использования авиации для наблюдения за лесами. Несмотря на почти вековую историю, авиационный мониторинг, в силу технических и финансовых причин, до настоящего времени не может эффективно и с необходимой частотой обеспечивать полный охват всех лесов страны. Кроме того, недостатками авиационного метода лесопожарного мониторинга, по сравнению с космическими наблюдениями, являются

неравномерность патрулирования территории, а также различное расписание вылетов (в зависимости от опыта летчиков-наблюдателей и других субъективных факторов).

Появление доступных данных ДЗЗ из космоса позволило отказываться от эффективного, но дорогостоящего авиационного патрулирования лесов на удаленных и труднодоступных территориях в пользу космических методов мониторинга лесных пожаров.

Данные ДЗЗ из космоса позволяют получать оперативную и достоверную однородную информацию по всей территории Российской Федерации, что очень важно для принятия управленческих решений. Однородность обеспечивает сопоставимость данных и повышает качество анализа информации о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах. Одновременно при этом возрастет необходимость автоматизации процессов сбора, обработки и распространения данных.

### ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ

Опыт организации охраны лесов от пожаров в советские годы показал, что очаг горения можно считать своевременно обнаруженным, если его площадь в момент выявления не превысила 5 га. Своевременное обнаружение пожара позволяло его ликвидировать группой из 5–6 человек с ручными средствами тушения. Существенно большая площадь обнаружения часто приводит к длительным и затратным работам по тушению пожаров с привлечением технических средств. Понимание важности оперативного обнаружения пожаров в советское время привело к активному развитию авиационной охраны лесов. К середине 70-х годов в системе авиационной охраны лесов работало более 8 тыс. парашютистов-пожарных (десантников-пожарных), ликвидировавших на начальных стадиях горения до 70% пожаров. Работа региональных авиабаз координировалась ФГУ «Центральная база авиационной охраны лесов» (Центральная авиабаза).

Сокращение финансирования лесного хозяйства в конце 1990-х–начале 2000-х годов потребовало оптимизации затрат с целью поддержания необходимого уровня охраны лесов от пожаров в новых условиях.

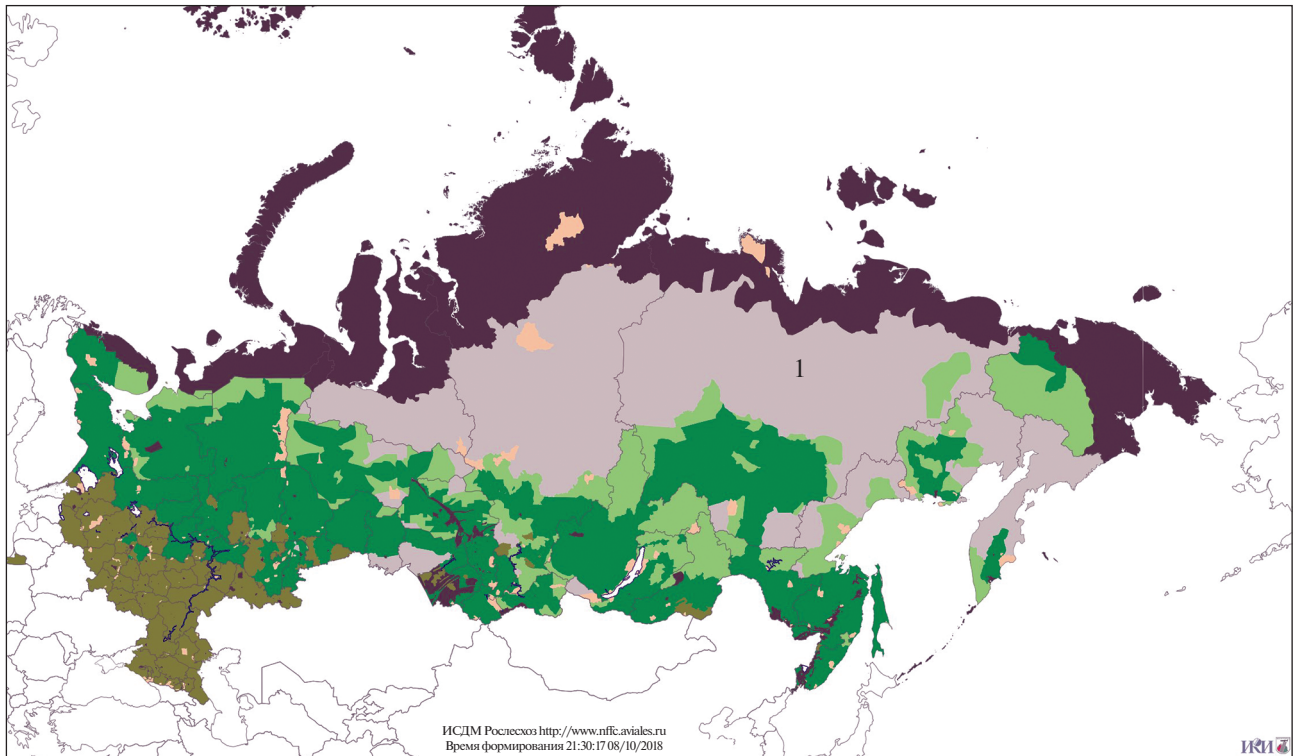
При этом данные спутниковых наблюдений в те годы еще не способны были составить полноценную замену авиационным методам обнаружения лесных пожаров. Основным ограничением методов дистанционного зондирования из космоса того периода было то, что очаги горения регистрировались только после достижения ими достаточно большой площади. Но даже подобные сведения были важны для мониторинга крупных и особо крупных лесных пожаров. Это позволяло

частично отказаться от необходимости регулярного облета по контуру пожаров, размеры которых иногда достигали тысяч, а порой и десятков тысяч гектар. Кроме того, на значительной площади малонаселенных и труднодоступных территорий Российской Федерации в тот период не существовало авиационных и наземных средств обнаружения (так называемые неохранные леса). На таких территориях, а это почти 400 млн га, даже весьма скромные возможности космических методов (обнаружение и регистрация лесных пожаров на площадях от 50 га) оказались очень востребованными.

Начиная с 1995 г. в России реализовывались несколько проектов, связанных с организацией получения и обработкой спутниковых данных. Эти работы в различные годы финансировались Рослесхозом, Минприроды России, РАН, фондами РФФИ и TACIS (Коровин, Барталев, Беляев, 1998; Abushenko et al., 1999; Абушенко и др., 2000a; Isaev et al., 2002; Justice et al., 2002). Указанные работы позволили организовать автоматизированные рабочие места в диспетчерских пунктах Центральной авиабазы, а в дальнейшем, с развитием Интернет-технологий доступа к данным — и в диспетчерских пунктах региональных баз авиационной охраны лесов.

Существенный прорыв в развитии автоматизации, обработки данных дистанционного зондирования позволил унифицировать отдельные элементы технологий уже в 2003 г. объединив их в единую систему. Над созданием и развитием системы в разные годы работали следующие учреждения и организации: Центральная авиабаза (теперь ФБУ «Авиалесоохрана»), Институт космических исследований (ИКИ) РАН, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ) РАН, Институт солнечно-земной физики (ИСЗФ) СО РАН, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства (СПбНИИЛХ) и ряд других. Так, например, в 2004 г. в Красноярском крае совместно со специалистами ФБУ «Авиалесоохрана» и ИКИ РАН были проведены контрольные облеты выборочных участков лесных гарей для определения их точных границ с использованием систем спутниковой навигации (Барталев и др., 2005a). Замеры позволили провести верификацию алгоритмов определения площади лесных пожаров и отработать методики выездного инспекторского контроля достоверности сведений о них.

Учитывая особенность решаемых задач и технические возможности того времени, была создана система космического мониторинга крупных лесных пожаров, которая после проведения в 2004 г. опытной эксплуатации и доработки получила название — «Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства» (ИСДМ-



**Рис. 1.** Лесопожарное зонирование территории России по состоянию на 2005 г. (1 – зона космического мониторинга второго уровня)

Рослесхоз). В 2005 г. система была введена в промышленную эксплуатацию. Описанию особенностей системы и ее блоков на различных этапах ее развития посвящено значительное число работ (Барталев и др., 2005а; Беляев, Коровин, Лупян, 2005; Сементин и др., 2005; Котельников, Коршунов, 2008; Котельников, Флитман, 2007; Лупян и др., 2013а; Галеев и др., 2005; Ефремов и др., 2011; Лупян и др., 2013б, 2015а).

Оператором ИСДМ-Рослесхоз стала ФБУ «Центральная база авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана». Сопровождением и развитием занималась обширная кооперация организаций и учреждений, состав которой периодически корректировался с учетом решаемых на различных этапах задач и потребностей отрасли.

Следует отметить, что существенное влияние на организационную структуру и регламентацию работы охраны лесов от пожаров космические данные могли оказать только после формирования соответствующей нормативной и инструктивно-методической базы. Существенным шагом в этом направлении стало утверждение Регламента работы ИСДМ-Рослесхоз (приказ Рослесхоза от 08.12.2005 № 326), а также приказ Рослесхоза «О космическом мониторинге лесных пожаров» от 25.05.2005 № 112. Приказ № 112 не только утвердил Методические рекомендации по проведению космического мониторинга лесных пожа-

ров на территории лесного фонда, но и впервые выделил зоны космического мониторинга (рис. 1). При этом, зона космического мониторинга делилась на два уровня. К первому уровню относятся территории, на которых возможно применение авиации для уточнения данных космического мониторинга. Ко второму уровню относятся удаленные и труднодоступные территории, отчетность о пожарах по которым формируется исключительно по данным космического мониторинга. Фактически с этого момента термин «неохраняемые леса» вышел из обихода, так как сведения обо всех пожарах, в т.ч. на труднодоступных территориях, должны вноситься в статистику на основе космической информации без обязательного посещения места горения. Таким образом ИСДМ-Рослесхоз из системы мониторинга только крупных лесных пожаров стала, в том числе, инструментом обнаружения очагов горения.

В настоящее время, в рамках сопровождения информационной системы, перед пожароопасным сезоном проводятся работы по ежегодному обновлению границ зон мониторинга, лесного фонда, авиаотделений и лесничества на основе цифровых картографических материалов субъектов Российской Федерации. Для этой задачи были разработана геоинформационная технология обновления границ, которая в последствие модернизировалась с учетом требований к картогра-

фической информации (Подольская, Ершов, 2006). Это позволяет поддерживать картографическую основу в актуальном состоянии, а также автоматический формировать оперативную отчетность по пожарам на землях лесного фонда, иных территориях по зонам мониторинга на уровне субъектов Российской Федерации, округов и в целом по России. Перед специалистами лесопожарных служб, которые получили в свое распоряжение регулярный поток спутниковых данных, встал вопрос необходимости сопоставления получаемой информации со сведениями от наземных и авиационных источников. Кроме того, важно было достоверно идентифицировать регистрируемые системой тепловые аномалии. В связи с этим ключевой задачей ИСДМ-Рослесхоз стало объединение в одном интерфейсе сведений, поступающих из разных источников. При этом ИСДМ-Рослесхоз изначально создавалась как полноценная геоинформационная система, одним из основных требований к которой было обеспечение возможности распределенной работы с ней специалистов на всей территории страны, осуществляющих совместный анализ сведений из разных источников. Это привело к созданию многофункциональных web-интерфейсов для доступа и анализа данных. При этом пользователи системы имеют возможность работать как с картографическими интерфейсами, позволяющими анализировать различную пространственную информацию, так и с автоматически формируемыми различными отчетными формами. Надо отметить, что на первых этапах развития ИСДМ-Рослесхоз была рассчитана на то, что ее пользователями будут специалисты учреждений авиационной охраны лесов, в первую очередь, диспетчерских служб, прошедших соответствующее обучение, и имеющих опыт анализа разнородной информации. Поэтому создаваемые в рамках системы интерфейсы для работы с данными обладали достаточно широкими функциональными возможностями, но были рассчитаны на подготовленных специалистов.

Начиная с 2011 г. руководством Рослесхоза принимается серия решений, направленных на расширение круга пользователей системы. Доступ к ресурсам системы получили пользователи, часто не связанные непосредственно с работами по охране лесов от пожаров и не проходившие обучение для работы с ИСДМ-Рослесхоз. Это в ряде случаев приводило к неверной интерпретации сведений, предоставляемых системой. В дальнейшем, в рамках модернизации системы, были созданы отдельные интерфейсы, которые предоставляют информацию и неподготовленным пользователям. В настоящее время в системе организована достаточно развитая схема разграничения доступа к данным, что, в том числе, позволяет работать с ней как специалистам, обеспечивающим охрану лесов от пожаров, так и широкому

кругу пользователей, заинтересованных в получении информации о лесопожарной ситуации.

Большое число пользователей, а также необходимость обеспечивать оперативное предоставление информации для различных регионов на первых этапах работы, потребовало создать информационные узлы ИСДМ-Рослесхоз в центрах приема данных ДЗЗ, действующих в ее интересах. Это дало возможность пользователям работать не только с центральным информационным узлом системы, но при необходимости использовать региональные узлы. На разных этапах развития системы такие узлы действовали в Хабаровске, Красноярске, Новосибирске, Ханты-Мансийске, Самаре, Москве и Пушкино. По мере расширения коммуникационных возможностей отпала необходимость работы с таким значительным числом узлов. В настоящее время в ИСДМ-Рослесхоз поддерживается только два информационных узла – (центральный и резервный) – расположенные в Московском регионе. Также поддерживается контрольный узел, использующийся для тестирования новых блоков и элементов системы перед вводом их в эксплуатацию. Контрольный узел разворачивается обычно в одной из организаций, обеспечивающих поддержку ИСДМ-Рослесхоз в конкретном пожароопасном сезоне. Важным шагом к оптимизации технической структуры ИСДМ-Рослесхоз стал переход в 2016 г. на сервисную схему работы. Это позволяет в настоящее время избежать необходимости поддерживать в системе дорогостоящие долговременные архивы спутниковых данных и использовать сервисы доступа к спутниковой информации и результатам их обработки, предоставляемым крупными российскими специализированными системами, таким как Объединенная система работы с данными центров НИЦ “Планета” и Центром коллективного пользования “ИКИ-Мониторинг” (Лупян и др., 2014, 2015б).

Одной из важных функций ИСДМ-Рослесхоз является исключение из отчетности сведений о зарегистрированном очаге горения, которое не являющимся лесным пожаром (например, антропогенных объектов, сельскохозяйственных палов и т.д.). Одним из путей решения этой задачи стало создание обратной связи, реализованной через специальные интерфейсы, позволяющие осуществлять сбор информации о подтверждении в качестве “лесного пожара” зон горения, зарегистрированных с использованием ИСДМ-Рослесхоз (Котельников, Флитман, 2007). Для решения данной задачи в ИСДМ-Рослесхоз был интегрирован блок сбора, обработки и анализа лесопожарной информации по данным наземного и авиационного мониторинга (“Ясень-Ф”) (Сонькин, Семькин, 2008). Это, в том числе, позволило ИСДМ-Рослесхоз развиваться из системы космического мониторинга крупных лесных пожаров в

комплексную информационную систему охраны лесов от пожаров. В то же время ее основой остаются методы и технологии ДЗЗ.

С 01 января 2007 г. вступил в действие Лесной кодекс Российской Федерации, предусматривающий передачу в субъекты Российской Федерации части полномочий в области лесных отношений, в том числе и по охране лесов, а также определенного объема финансирования (субвенции). Кодекс предусматривает достаточно большую свободу регионов в вопросах выбора оптимальных для местных условий средств и методов охраны лесов от пожаров, в том числе наделяя их правами перераспределения финансирования на решение наиболее проблемных вопросов лесного хозяйства. В то же время федеральный центр осуществляет оценку эффективности деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации в области лесных отношений, включая охрану лесов от пожаров.

В настоящее время, основу системы охраны лесов составляют государственные бюджетные и автономные учреждения, подведомственные органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации, которые созданы практически повсеместно. Эти учреждения финансируются напрямую из бюджета субъекта Российской Федерации за счет субвенций. Учитывая случайный характер распределения ежегодной горимости лесов по стране, создавать в каждом регионе лесопожарные формирования из расчета максимальной горимости экономически нецелесообразно. Наиболее рациональным является оперативная переброска сил пожаротушения из регионов с меньшей горимостью. Кроме того, с целью организации работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций в лесах, возникших вследствие пожаров, которые периодически возникают в отдельных регионах, в ФБУ «Авиалесоохрана» сформирован федеральный резерв сил и средств пожаротушения. Для принятия решений о маневрировании ресурсами пожаротушения важна оперативная, достоверная, а главное независимая от человеческого фактора информация о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах.

В российских условиях получение объективной, однородной по всей стране и оперативной информации о лесопожарной обстановке, в том числе о площадях, пройденных огнем, могут обеспечить только спутниковые методы. Такая информация необходима как для оценки эффективности работ по охране лесов от пожаров ДЗЗ, так и для решения задач, связанных с маневрированием ресурсами пожаротушения.

С целью обеспечения контроля достоверности сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах, поступающих от региональных лесопожарных служб, в 2014–2015 гг. в Российской Федерации издан ряд нормативных правовых актов,

формирующих многоуровневую систему контроля, основанную прежде всего на возможностях ИСДМ-Рослесхоз. Так, сведения о площадях крупных лесных пожаров в ежедневном, автоматическом режиме сравниваются с данными, полученными на основе спутникового детектирования очагов горения. В случае существенных отклонений (более 30%) осуществляется детальный замер площади отдельных лесных пожаров по данным ДЗЗ высокого пространственного разрешения. В ИСДМ-Рослесхоз реализована технология, позволяющая в максимально автоматизированном режиме проводить массовое картографирование пройденной огнем площадей конкретных пожаров с использованием спутниковых данных высокого пространственного разрешения (Ефремов, Запольский, Мазуров, 2010). В тех случаях, когда необходимые данные ДЗЗ для контроля площади отсутствуют или есть серьезные разногласия по оценке площадей со специалистами субъектов Российской Федерации, предусмотрена возможность выездной инспекторской проверки с целью инструментального замера пройденной огнем площади путем обхода (или облета) контура пожара с регистрацией траектории средствами спутниковой навигации. В состав ИСДМ-Рослесхоз входит комплекс средств, обеспечивающих необходимой информацией инспекторский состав, выполняющий выездные проверки в регионах, в частности телекоммуникационная лаборатория «Ясень-ТКЛ» (Сонькин, Семькин, 2008).

Следует отметить, что наличие возможности получения точной информации о площадях пройденных огнем на основе данных высокого пространственного разрешения достаточно сильно сокращает необходимость проведения выездных проверок. Например, за период с 2013 по 2015 г. проведено всего шесть выездных проверок площадей, пройденных лесными пожарами (Амурская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Республика Саха (Якутия), Республика Тыва, Республика Коми и Забайкальский край), выполнены инструментальные замеры более 40 лесных пожаров. В результате работ по уточнению пройденных огнем площадей внесены корректировки: в 2013 г. – 603 раза (площадь скорректирована на 359.6 тыс. га), в 2014 г. – 603 (на 119.7 тыс. га), в 2015 г. – 485 (на 119.7 тыс. га.).

В последующие годы, учитывая результаты инструментальных замеров, а также с учетом увеличения объема поступающих в ИСДМ-Рослесхоз данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения, потребность в выездных проверках существенно сократилась. Контроль данных осуществляется в основном по результатам обработки данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения. Уточненная информация вносится в систему и в дальнейшем используется в учете. Возможности ИСДМ-Рослесхоз могут использовать

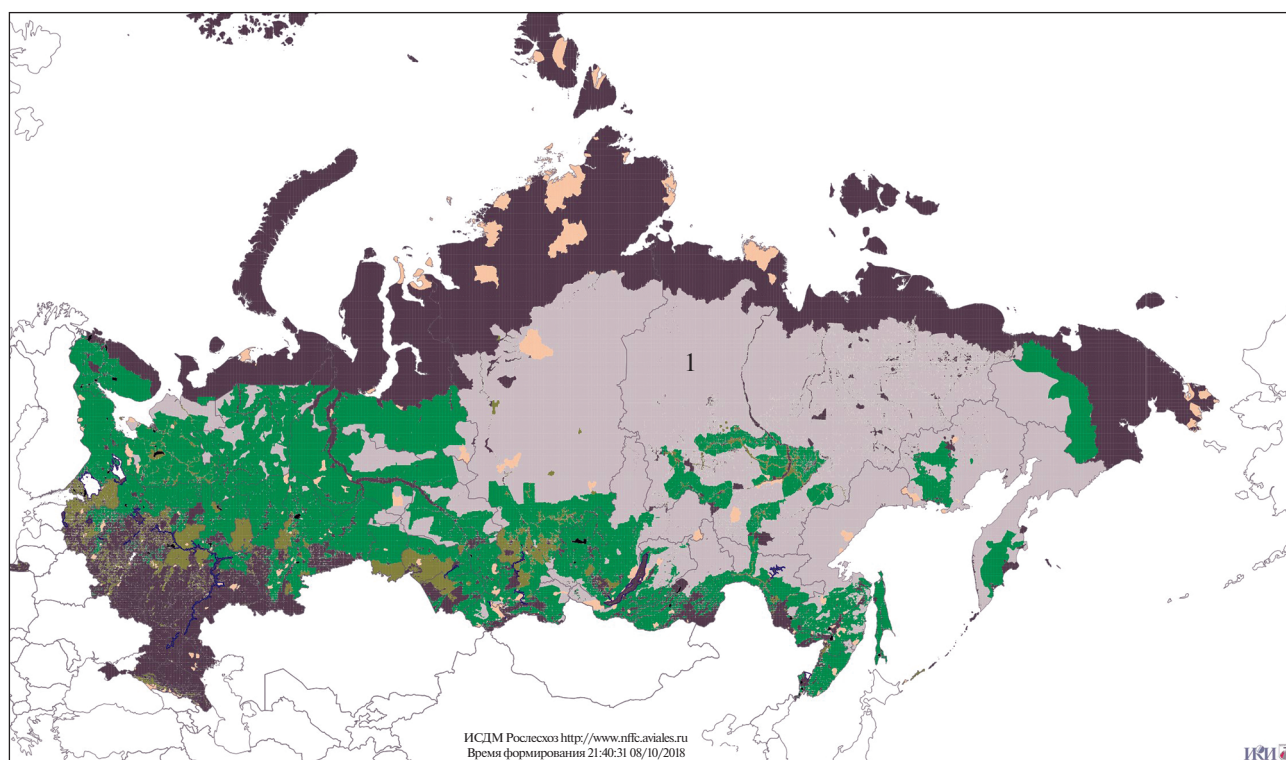


Рис. 2. Лесопожарное зонирование территории России по состоянию на 2018 г. (1 – зона контроля)

ся при контроле за осуществлением субъектами Российской Федерации полномочий по охране лесов от пожаров не только в части оценки достоверности сведений о площадях. Важным показателем оценки эффективности работ по охране лесов является ущерб от лесных пожаров. Алгоритмы, применяемые в ИСДМ-Рослесхоз, позволяют оценить повреждения лесов, в том числе определить площадь погибших насаждений (Барталев и др., 2005b, 2010, 2015; Стыщенко и др., 2013; Барталев и др., 2014, 2017). Особо следует отметить, что имеющиеся в системе, ежегодно актуализируемые данные о состоянии лесов России (Барталев и др., 2016), включая карты типов лесного и нелесного покрова, преобладающих древесных пород и запасов стволовой древесины, позволяют не только получать информацию о площадях погибших насаждений, но и проводить анализ типов погибших лесов и количественную оценку потерь. ИСДМ-Рослесхоз также позволяет анализировать данные, полученные по регионам за различные годы, в том числе формировать аналитические отчеты, дающие возможность сравнивать текущую ситуацию в регионах со среднемноголетней и также использовать данную информацию для оценки эффективности мероприятий по охране лесов от пожаров (см., например, (Сонькин, Семькин, 2008)).

Следует отметить, что в 2015–2018 гг. произошел существенный технологический прорыв, связанный с вводом эксплуатации новых спутнико-

вых систем ДЗЗ. Были введены в эксплуатацию спутники семейства Sentinel, метеоспутники нового поколения (Himawari 8, Suomi-NPP и JPSS1), новые спутники серии Канопус В (в том числе, Канопус В ИК). Фактически непрерывное развитие ИСДМ-Рослесхоз, которое велось в 2015–2017 гг., позволило, в частности, интегрировать и начать эффективно использовать в системе большинство этих возможностей. Это обеспечило, в частности, повышение регулярности наблюдений (до 20–30 раз в сутки) и близкую к стопроцентной возможность получения информации для уточнения площади, пройденной конкретным пожаром, с использованием спутниковых данных ДЗЗ с иностранным разрешением не хуже 10–30 м.

В 2015 г. в Правила тушения лесных пожаров, утвержденные приказом Минприроды России от 08.07.2014 № 313, внесены изменения, предусматривающие возможность приостановления работ по тушению лесных пожаров при отсутствии угрозы населенным пунктам или объектам экономики в случаях, когда ожидаемые затраты на тушение лесных пожаров превышают прогнозируемый вред, который может быть ими причинен. Предполагалось, что данные изменения придут на смену подходу, связанному с выделением зон космического мониторинга первого и второго уровня. В соответствии с письмом ФБУ «Авиалесоохрана» регионам рекомендовалось в качестве зон контроля выделять зоны космического мони-

торинга второго уровня. На практике, учитывая другие механизмы принятия решений (индивидуально по каждому лесному пожару), часть субъектов Российской Федерации расширили географию зон контроля, стараясь получить большую гибкость в организации работ по тушению (новые границы изображены на рис. 2). Потом остро встал вопрос о необходимости разработки критериев отнесения территорий к зонам контроля лесных пожаров, а также разработки методических указаний по принятию решений о целесообразности прекращения или приостановки работ по тушению лесного пожара в этих зонах. Такие работы планируется завершить в 2019 г.

### ТЕКУЩИЕ ЗАДАЧИ ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ

При сложившейся системе охраны лесов (по состоянию на 2018 г.) можно выделить основные задачи, которые позволяет решать система:

#### 1. Мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров:

- обеспечение регионов сведениями о пожарной опасности в лесах;
- обнаружение лесных пожаров (особенно в зоне контроля);
- мониторинг и прогнозирование распространения крупных лесных пожаров;
- обеспечение лесопожарных служб комплексной информацией дистанционного мониторинга и инструментами для ее анализа.

#### 2. Контроль организации охраны лесов в регионах:

- оценка достоверности сведений о пожарной опасности в лесах;
- контроль профилактических выжиганий;
- информационное обеспечение контрольно-надзорных мероприятий.

#### 3. Формирование однородной и объективной информации о лесных пожарах и их последствиях для:

- подготовки сведений о лесных пожарах для Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС);
- подготовки сведения о лесных пожарах для включения формы 7-ОИП (отчетность регионов об исполнении лесных полномочий в части возникших лесных пожаров);
- проверки информации, поступающей в государственный лесной реестр.

Особо отметим, что наличие в ИСДМ-Рослесхоз модуля прогнозирования развития лесного пожара (Хвостиков и др., 2012; Хвостиков, Барталев, Лупян, 2016) и методов оценки последствий воздействия лесных пожаров (Стыщенко и др., 2013; Барталев и др., 2005b, 2010, 2014, 2015, 2016, 2017; Стыщенко и др., 2016) позволят получать объективную информацию для принятия решения о целесообразности или нецелесообразности

организации тушения лесного пожара, особенно когда он находится на удаленной и труднодоступной территории. Возможные схемы реализации такого подхода представлены в ряде публикаций (например, (Лупян и др., 2016)).

Следует также иметь в виду, что задачи ИСДМ-Рослесхоз постоянно корректируются с учетом изменений нормативной правовой базы, различных административно-организационных факторов, новых технических и технологических возможностей.

**Заключение.** Более чем десятилетний опыт эксплуатации ИСДМ-Рослесхоз, ее постоянные модернизация и развитие позволяет системе эффективно решать текущие задачи, связанные с мониторингом природных пожаров на территории России и организацией охраны лесов от пожаров. В настоящее время ИСДМ-Рослесхоз является единственной в России комплексной системой федерального уровня, обеспечивающей информационную поддержку принятия управленческих решений в области охраны лесов от пожаров. Следует отметить, что сегодня в системе используются как новейшие возможности спутниковых систем ДЗЗ, так и последние технологические разработки в области создания информационных систем дистанционного мониторинга. В частности, ИСДМ-Рослесхоз обеспечивает возможности не только обнаружения, мониторинга и прогнозного моделирования развития очагов горения, но позволяет оценивать повреждения и гибель лесов от пожаров с оценкой потерь лесных ресурсов. Это достигается, в том числе, за счет ежегодной актуализации в системе картографической информации о пространственном распределении на территории России различных типов покрытых и непокрытых лесом земель, преобладающих древесных пород и запасов стволовой древесины в лесах. По мнению авторов это позволяет рассматривать ИСДМ-Рослесхоз в качестве перспективной технологической платформы для создания комплексной системы дистанционного мониторинга лесных ресурсов России, которая может быть создана в ближайшие годы на основе современных методов и технологий спутникового мониторинга лесов. Возможность создания такой системы достаточно наглядно продемонстрирована при реализации региональных систем дистанционного мониторинга (например, (Лупян и др., 2016)).

Подготовка статьи выполнена при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России: соглашение 05.577.21.0294 “Разработка технологий автоматизированной обработки спутниковых данных дистанционного зондирования Земли для создания и поддержки информационных сервисов мониторинга лесных ресурсов и охотничьих угодий России”, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57718X0294.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Мауров А.А., Минько Н.П. Оценка площадей крупных лесных пожаров по данным AVHRR/NOAA // Исследование Земли из космоса, 2000а. № 2. С. 87–93.
- Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов Д.В., Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Крашенникова Ю.С., Мазуров А.А. и др. Опыт и перспективы организации оперативного спутникового мониторинга территории России в целях службы пожароохраны лесов // Исследование Земли из космоса, 1998. № 3. С. 89–95.
- Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Лупян Е.А., Крашенникова Ю.С., Мазуров А.А., Минько Н.П. и др. Система сбора, обработки и доставки спутниковых данных для решения оперативных задач службы пожароохраны лесов России // Научные технологии, 2000б. Т. 1. № 2. С. 4–18.
- Барталев С.А., Беляев А.И., Егоров В.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Коршунов Н.А., Котельников Р.В., Лупян Е.А. Валидация результатов выявления и оценки площадей, поврежденных пожарами лесов по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов), 2005а. Т. 2. № 2. С. 343–353.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. Москва: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Крылов А.М., Стыценко Ф.В., Ховратович Т.С. Исследование возможностей оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т. 7. № 3. С. 215–225.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Курятникова Т.С., Лупян Т.С., Уваров И.А. Методы и результаты использования данных спутниковых наблюдений для оценки воздействия пожаров и рубок на леса России // Дистанционные методы в лесоустройстве и учете лесов. Приборы и технологии: Материалы Всероссийского совещания-семинара с международным участием. Красноярск, 28 сентября – 1 октября 2005 г. Красноярск: ИЛ СО РАН им. В.Н. Сукачев, 2005б. С. 23–27.
- Барталев С.А., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Панова О.Ю., Ефремов В.Ю. Экспресс-картографирование поврежденных лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014. Т. 11. № 1. С. 9–20.
- 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.
- Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Хвостиков С.А., Лупян Е.А. Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017. Т. 14. № 6. С. 176–193.
- Беляев И.М., 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. Т. 2. № 1. С. 20–29.
- Галеев А.А., Прошин А.А., Ершов Д.В., Тащилин С.А., Мазуров А.А., Лупян Е.А. Организация хранения данных спутникового мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2005. Т. 2. № 2. С. 367–371.
- Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. Москва: Изд-во ИТС СканЭкс-АБ, 1997. 296 с.
- 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. 7. № 3. С. 129–139.
- Ефремов В.Ю., Запольский А.А., Мазуров А.А. Автоматизированное оконтуривание лесной гари по данным SPOT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. Т. 7. № 2. С. 35–42.
- Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование земли из космоса, Цифровая обработка изображений. Москва: Изд-во Логос, 2001. 264 с.
- Коровин Г.Н., Барталев С.А., Ершов Д.В., Романович Э.Н. Состояние и перспективы разработки геоинформационной системы мониторинга лесных пожаров // Конференция пользователей ARC/INFO. Москва: Дата+, 1994. С. 100–111.
- Котельников Р.В., Коршунов Н.А. Космический мониторинг лесных пожаров // Авиапанорама, 2008. № 2 (68). С. 14–17.
- 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. Т. 4. № 1. С. 162–166.
- Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Барталев С.С., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Кашицкий А.В., Колбудаев П.А. и др. Информационная система комплексного дистанционного мониторинга лесов “Вега-Приморье” // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016. Т. 13. № 5. С. 11–28.
- Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В., Котельников Р.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жаринов С.Н., Ковганко К.А. и др. Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015а. Т. 12. № 5. С. 222–250.
- Лупян Е.А., Барталев С.А., Флитман Е.В., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Стыценко Ф.В., Ершов Д.В., Антонов В.Н., Карамарева Л.С. Спутниковые наблюдения лесных пожаров в России в 21 веке // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: доклады V Всероссийской конференции, посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина (Москва 22–24 апреля 2013 г.). Москва: ЦЭПЛ РАН, 2013а. С. 43–46.
- Лупян Е.А., Ершов Д.В., Барталев С.А., Исаев А.С. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров и их последствий: результаты последнего десятилетия и перспективы // Аэрокосмические



методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: доклады V Всероссийской конференции, посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина (Москва 22–24 апреля 2013г.). Москва: ЦЭПЛ РАН, 2013б. С. 40–43.

Луян 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.

Луян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.Е. и др. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015б. Т. 12. № 5. С. 263–284.

Сементин В.Л., Котельников Р.В., Луян Е.А., Ершов Д.В. Использование специалистами ФГУ “Авиалесоохрана” информационной системы дистанционного мониторинга (ИСДМ РОСЛЕСХОЗ) в целях прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами // Сборник материалов Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. V научно-практическая конференция. 2005. С. 115.

Сонькин М.А., Семькин С.В. Технология и аппаратно-программные средства учета лесопожарной информации (федеральный и региональный уровни) // Сборник трудов 7-й международной специализированной выставки “Пожарная безопасность XXI века”. Москва, с 26 по 29 августа 2008 г. Москва: Эксподизайн, 2008. С. 169–171.

Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Луян 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.

Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Иванова А.А., Луян Е.А., Сычугов И.Г. Возможности оценки площадей лесных пожаров в регионах России на основе данных спутникового детектирования активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016. Т. 13. № 6. С. 289–298.

Хвостиков С.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Луян 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.

Хвостиков С.А., Барталев С.А., Луян Е.А. Вероятностное прогнозирование развития природных пожаров методом Монте-Карло на основе интеграции в имитационную модель данных спутникового детектирования очагов горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016. Т. 13. № 5. С. 145–156.

Abushenko N., Bartalev S., Belyaev, A., Ershov D., Zakharov M.Y., Loupian E.Y., Korovin G., Koshelev V., Krashenninnikova Y.S., Mazurov A. et al. Near Real-time Satellite Monitoring of Russia for Forest Fire Protection // Mapping Science and Remote Sensing, 1999. V. 36. № 1. P. 54–61.

Gutman G., Bartalev S.A., Korovin G.N. Delineation of large fire damage areas in boreal forests using NOAA AVHRR measurements // Advances in Space Research, 1995. V. 15. № 11. P. 111–113.

Isaev A.S., Korovin G.N., Ershov D.V., Bartalev S.A., Janetos A., Kasischke E.S., Shugart H.H., French N.H.F., Orlick B.E., Murphy T.L. Using remote sensing to assess Russian forest fire carbon emissions // Climatic Change, 2002. V. 55. № 1–2. P. 235–249.

Justice C., Giglio L., Korontzi S., Owens, J., Morisette J.T., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y. The MODIS fire products // Remote Sensing of Environment, 2002. V. 83. № 1–2. P. 244–262

## Space Monitoring of Forest Fires: History of Creation and Development of ISDM-Rosleskhoz

R. V. Kotel'nikov<sup>1, \*</sup>, E. A. Lupyan<sup>2</sup>, S. A. Bartalev<sup>2</sup>, and D. V. Ershov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Center of the forest pyrology, development of forest ecosystem conservation, forest protection and regeneration technologies, Branch of the All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Krupskoy st. 42, 660062 Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup>Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya st. 84/32, Moscow, 117997 Russia

<sup>3</sup>Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya st. 84/32 bldg. 14, Moscow, 117997 Russia

\*E-mail: kotelnikovrv@firescience.ru

Received 17 November 2018

Edited 26 January 2019

Accepted 5 June 2019

Motivation and short history of the Information System of Remote Monitoring of the Federal Forest Agency of the Russian Federation (ISDM-Rosleskhoz) were documented in this paper. Factors of formation and development of the system were examined. Solutions of the ISDM-Rosleskhoz were found to be allow for creation of the hierarchical system of verification of data on vast forest fires. The technological breakthrough occurred in 2015–2018 was associated with operation of new satellite systems of remote sensing of the Earth. It helped significantly widen the solutions of ISDM-Rosleskhoz, including decrease in period of monitoring and near 100% data acquisition to correct total burned area by a fire using satellite images with spatial resolution not lower than 30–50 m. Recent demands faced by the ISDM-ROSLESKHOZ include: monitoring

of fire danger in forests and forests fires, control on organization of fire protection, and delivery of classified and verified data on forest fires and their consequences. Dynamics of distribution of control zones of forest fire (zones of space monitoring of the second level) were shown on a series of maps. ISDM-Rosleskhoz was shown to be the only complex system of federal level in Russia. It provides information support of decision making in the sphere of forest fire protection. ISDM-Rosleskhoz is a technological platform for the system of monitoring of forest resources of Russia, which can be developed in the years to come based on recent methods and technologies of satellite monitoring of forests.

*Keywords: space monitoring, forest fires, ISDM-Rosleskhoz.*

## REFERENCES

- Abushenko N., Bartalev S., Belyayev A., Yerшов D., Zakharov M.Y., Lupyan Y.A., Korovin G., Koshelev V., Krashennnikova Y.S., Mazurov A., Near real-time satellite monitoring of Russia for forest fire protection, *Mapping Sciences and Remote Sensing*, 1999, Vol. 36, No. 1, pp. 54–61.
- Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Maurov A.A., Min'ko N.P., Otsenka ploshchadei krupnykh lesnykh pozharov po dannym AVHRR/NOAA (Assessment of vast forest fires with AVHRR/NOAA data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2000, No. 2, pp. 87–93.
- Abushenko N.A., Bartalev S.A., Belyaev A.I., Ershov D.V., Korovin G.N., Koshelev V.V., Lupyan E.A., Krashennnikova Y.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 (System of selection, processing, and delivery of satellite data for operational purposes of forest fire protection service in Russia), *Naukoemkie tekhnologii*, 2000, Vol. 1, No. 2, pp. 4–18.
- Abushenko N.A., Bartalev S.A., Belyaev A.I., Ershov D.V., Zakharov M.Y., Lupyan E.A., Korovin G.N., Koshelev V.V., Krashennnikova Y.S., 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 development of operational satellite monitoring of Russian lands for fire safety service), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 1998, No. 3, pp. 89–95.
- Bartalev S., Egorov V., Krylov A., Stytsenko F., Khovratovich T., Issledovanie vozmozhnostei otsenki sostoyaniya povrezhdennykh pozharami lesov po dannym mnogospektral'nykh sputnikovyykh izmerenii (The evaluation of possibilities to assess forest burnt severity using multi-spectral satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 3, pp. 215–225.
- Bartalev S.A., Belyaev A.I., Egorov V.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Korshunov N.A., Kotelnikov R.V., Lupyan E.A., Validatsiya rezul'tatov vyyavleniya i otsenki ploshchadei, povrezhdennykh pozharami lesov po dannym sputnikovogo monitoringa (Validation of findings and areal estimates of forests disturbed by fire based on satellite monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Vol. 2, No. 2, pp. 343–353.
- Bartalev S.A., Egorov V.A., Kuryatnikova T.S., Lupyan E.A., Uvarov I.A., Metody i rezul'taty ispol'zovaniya dannykh sputnikovyykh nablyudenii dlya otsenki vozdeistviya pozharov i rubok na lesa Rossii (Methods and results of satellite monitoring data utilisation in assessment of the effects of fires and cuts on forests in Russia), *Distantsionnye metody v lesoustroistve i uchete lesov. Pribory i tekhnologii (Remote sensing methods in forest design and forest survey: instruments and technologies)*, Krasnoyarsk, 28 September–1 October 2005, Krasnoyarsk: Izd-vo IL SO RAN, 2005, pp. 23–27.
- Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V., *Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii (Satellite mapping of vegetation cover of Russia)*, Moscow: Izd-vo IKI RAN, 2016, 208 p.
- Bartalev S.A., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Panova O.Y., Efremov V.Y., Ekspress-kartografirovaniye povrezhdenii lesov Rossii pozharami po sputnikovym dannym Landsat, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 9–20.
- Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Loupian E.A., Sputnikovaya otsenka gibeli lesov Rossii ot pozharov (Satellite-based assessment of Russian forest fire mortality), *Lesovedenie*, 2015, No. 2, pp. 83–94.
- Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Khvostikov S.A., Loupian E.A., Metodologiya monitoringa i prognozirovaniya pirogennoi gibeli lesov na osnove dannykh sputnikovyykh nablyudenii (Methodology of post-fire tree mortality monitoring and prediction using remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 6, pp. 176–193.
- Belyaev A.I., Korovin G.N., Lupyan E.A., Ispol'zovanie sputnikovyykh dannykh v sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov MPR RF (Application of satellite data in the system of remote monitoring of forest fires of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Vol. 2, No. 1, pp. 20–29.
- Efremov V.Y., Balashov I.V., Kotelnikov R.V., Lupyan 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. 7, No. 3, pp. 129–139.
- Efremov V.Y., Zlatopolsky A.A., Mazurov A.A., Avtomatizirovanoe okonturivaniye lesnoi gari po dannym SPOT (More precise automatic burnt out forest places space detection using HRV, HRVIR data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 2, pp. 35–42.
- Galeev A.A., Proshin A.A., Ershov D.V., Tashchilin S.A., Mazurov A.A., Lupyan E.A., Organizatsiya khraneniya dannykh sputnikovogo monitoringa lesnykh pozharov (Structure of the bank of data of satellite monitoring of forest fires), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Vol. 2, No. 2, pp. 367–371.
- Garbuk S.V., Gershenzon V.E., *Kosmicheskie sistemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli (Space systems of remote sensing of Earth)*, Moscow: Izd-vo ITTs ScanEks-AB, 1997, 296 p.
- Gutman G., Bartalev S., Korovin G., Delineation of large fire damage areas in boreal forests using NOAA AVHRR

- measurements, *Advances in Space Research*, 1995, Vol. 15, No. 11, pp. 111–113.
- Isaev A.S., Korovin G.N., Ershov D.V., Bartalev S.A., Janetos A., Kasischke E.S., Shugart H.H., French N.H.F., Orlick B.E., Murphy T.L., Using remote sensing to assess Russian forest fire carbon emissions, *Climatic Change*, 2002, Vol. 55, No. 1–2, pp. 235–249.
- Justice C., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y., The MODIS fire products, *Remote Sensing of Environment*, 2002, Vol. 83, No. 1–2, pp. 244–262.
- Kashkin V.B., Sukhinin A.I., *Distsionnoe zondirovanie Zemli iz kosmosa. Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii* (Remote sensing of Earth from space. Digital image processing), Moscow: Logos, 2001, 263 p.
- Khvostikov S.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Y., Loupian E.A., Regional'naya optimizatsiya parametrov prognoznoi modeli prirodnykh pozharov i operativnoe modelirovanie dinamiki ikh razvitiya s ispol'zovaniem dannykh sputnikovyykh 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. 91–98.
- Khvostikov S.A., Bartalev S.A., Loupian E.A., Veroyatnostnoe prognozirovanie razvitiya prirodnykh pozharov metodom Monte-Karlo na osnove integratsii v imitatsionnyuyu model' dannykh sputnikovogo detektirovaniya ochagov goreniya (Stochastic wildfire model based on Monte-Carlo method and remote sensing data integration), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 5, pp. 145–156.
- Kotel'nikov R., Korshunov N., Kosmicheskii monitoring lesnykh pozharov (Space monitoring of forest fires), *Aviapanorama*, 2008, No. 2 (68), pp. 14–17.
- Kotel'nikov R.V., Flitman E.V., Tekhnologiya identifikatsii sputnikovyykh dannykh o lesnykh pozharakh s dannyimi nazemnogo i aviatsionnogo monitoringa s ispol'zovaniem ISDM–ROSLESKHOZ (Technology of coupling of satellite data on forest fires and data of surface and aerial monitoring using ISDM–ROSLESKHOZ), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2007, Vol. 4, No. 1, pp. 162–166.
- Loupian E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V., Kotel'nikov R.V., Balashov I.V., Bourtssev M.A., Egorov V.A., Efremov V.Y., Zharko V.O., Kovganko K.A., Kolbudaev P.A., Krasheninikova Y.S., Proshin A.A., Mazurov A.A., Uvarov I.A., Stytsenko F.V., Sychugov I.G., Flitman E.V., Khvostikov S.A., Shulyak P.P., Organizatsiya raboty so sputnikovymi dannyimi v informatsionnoi sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva (ISDM-Rosleskhoz) (Satellite data processing management in Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 222–250.
- Loupian E.A., Bartalev S.A., Flitman E.V., Egorov V.A., Efremov V.Y., Stytsenko F.V., Ershov D.V., Antonov V.N., Karamareva L.S., Sputnikovye nablyudeniya lesnykh pozharov v Rossii v 21 veke (Satellite observations of forest fires in Russia in the 21st century), *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii i lesnom khozyaistve (Aerospace methods and geoinformational technologies in forest science and forestry)*, Moscow, 22–24 April 2013, Moscow: Izd-vo TsEPL RAN, 2013, pp. 43–46.
- Loupian E.A., Ershov D.V., Bartalev S.A., Isaev A.S., Informatsionnaya sistema distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov i ikh posledstviy: rezul'taty poslednego detsyatiletia i perspektivy (Information system for remote monitoring of forest fires and their consequences: The results of the last decade and further prospects), *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii i lesnom khozyaistve (Aerospace methods and geoinformational technologies in forest science and forestry)*, Moscow, 22–24 April 2013, Moscow: Izd-vo TsEPL RAN, 2013, pp. 40–43.
- Loupian E.A., Proshin A.A., Bourtssev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Y., Kashnitskii A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sydneva O.E., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Tsentr kolektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovyykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
- Luopian E.A., Bartalev S.A., Balashov I.V., Bartalev S.S., Bourtssev M.A., Egorov V.A., Efremov V.Y., Zharko V.O., Kashnitskii A.V., Kolbudaev P.A., Kramareva L.S., Mazurov A.A., Oksyukevich O.Y., Plotnikov D.E., Proshin A.A., Senko K.S., Uvarov I.A., Khvostikov S.A., Khovratovich T.S., Informatsionnaya sistema kompleksnogo distantsionnogo monitoringa lesov "Vega-Primor'e", *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 5, pp. 11–28.
- Lupyan E.A., Milekhin O.E., Antonov V.N., Kramareva L.S., Bourtssev M.A., Balashov I.V., Tolpin V.A., Solov'ev V.I., System of operation of joint information resources based on satellite data in the Planeta Research Centers for Space Hydrometeorology, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2014, Vol. 39, No. 12.
- Sementin V.L., Kotel'nikov R.V., Lupyan E.A., Ershov D.V., Ispol'zovanie spetsialistami FGU "Avialesookhrana" informatsionnoi sistemy distantsionnogo monitoringa (ISDM ROSLESKHOZ) v tselyakh prognozirovaniya chrezvychnykh situatsii, svyazannykh s lesnymi pozharami (Application of information system of remote monitoring ISDM ROSLESKHOZ to predict emergency events associated to forest fires by the staff of Aerial Forest Protection Service), *Problemy prognozirovaniya chrezvychnykh situatsii (Challenges in prediction of emergency events)*, Proc. Conf., Moscow, Moscow: Tsentr "Antistikhia", 2005, pp. 115.
- Son'kin M.A., Semykin S.V., Tekhnologiya i apparatno-programmnye sredstva ucheta lesopozharnoi informatsii (federal'nyi i regional'nyi urovni) (Technology, hardware and software of accounting of forest fire data at federal and regional levels), *Fire safety XXI century. Automatics for security and fire safety*, Proc. Conf., Moscow, 26–29 August 2008, Moscow: Ekspodizain-Kholding – Pozhkniga, 2008, pp. 169–171.
- 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.
- Stytsenko F.V., Bartalev S.A., Ivanova A.A., Loupian E.A., Sychugov I.G., Vozmozhnosti otsenki ploshchadei lesnykh pozharov v regionakh Rossii na osnove dannykh sputnikovogo detektirovaniya aktivnogo goreniya (Forest burnt area assessment possibilities in regions of Russia based on active fires detection by satellites), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 6, pp. 289–298.