

## Возможности оценки площадей лесных пожаров в регионах России на основе данных спутникового детектирования активного горения

Ф.В. Стыценко, С.А. Барталев, А.А. Иванова, Е.А. Лупян, И.Г. Сычугов

*Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия  
E-mail: smis@smis.iki.rssi.ru*

Работа посвящена обсуждению вопроса оценки площадей, пройденных лесными пожарами, с использованием данных детектирования активного горения на основе информации, получаемой спутниковыми системами низкого пространственного разрешения. На основе сравнения измерений площадей пожаров по оперативным данным детектирования активного горения и площадей, полученных на основе картографирования гарей с использованием информации спутников Landsat, построены оценки ошибок измерений в зависимости от площади наблюдаемого пожара. Предложена схема оценки ошибок интегральных площадей, пройденных пожарами в отдельных регионах. На основе информации, полученной за пожароопасные сезоны 2001–2016 годов, проведена оценка ошибок интегральных площадей пожаров в различных регионах России. Показано, что для 80% случаев оценки интегральных площадей, пройденных лесными пожарами в регионах России, с использованием спутниковых данных детектирования активного горения ошибка не превышает 30%. Показано также, что в случае, когда интегральная площадь лесных пожаров в регионе превышает 100 000 га, ошибка оценки ниже 10%. Отмечается, что ошибка оценки интегральной площади, пройденной лесными пожарами на уровне всей страны, обычно составляет несколько процентов.

**Ключевые слова:** площади пожаров, детектирование пожаров, ошибка определения площади пожара, спутниковые данные, мониторинг, MODIS

*Одобрена к печати: 10.11.2016  
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-289-298*

### Введение

Процесс оценки пройденной лесными пожарами площади довольно сложен в силу следующих основных объективных факторов:

- лесной пожар является достаточно быстротекущим явлением, и в процессе его действия (особенно для крупных пожаров) не всегда удается получить информацию по всей территории его развития;
- условия на территории, пройденной огнем, быстро меняются, в частности, может происходить ее зарастание. Это затрудняет, а иногда даже делает невозможным по истечении некоторого времени массовое и точное определение границ территорий, пройденных огнем;
- в связи с особенностями территорий, на которых действуют лесные пожары, границы пройденных огнем площадей бывают сложными, и процесс их точного определения может оказаться долгим и дорогостоящим;
- лесные пожары часто охватывают значительные территории и граница площадей, пройденных огнем, может для отдельных пожаров составлять десятки, а иногда и сотни километров;
- лесные пожары действуют на значительных территориях, в силу чего получение информации обо всех действующих пожарах наземными и/или авиационными средствами, как показывает практика, не представляется возможным и рентабельным.

Поэтому фактически единственным средством получения однородной информации о площадях, пройденных огнем, по всей территории РФ являются средства дистанционного зондирования Земли, в первую очередь спутниковые.

В настоящее время методы оценки пройденных огнем площадей можно разделить на две основные группы:

1. Методы, основанные на анализе результатов детектирования активного горения (Loboda, Csiszar, 2005; Loupian et al., 2006; Tansey et al., 2008; Пономарёв, Иванов, 2012; Барталев и др., 2012; Bartalev et al., 2013).
2. Методы, основанные на анализе последствий пожаров и картографировании га-рей (Fraser et al., 2000; Grégoire et al., 2003; Барталев и др., 2005, 2012; Егоров и др., 2006; Bartalev et al., 2007, 2013; Roy et al., 2008).

Первая группа методов основывается сегодня на использовании в основном данных низкого пространственного разрешения (500–1000 м), однако получаемых достаточно часто (обычно около 10 раз в сутки). Для решения данной задачи в основном используется информация, получаемая приборами MODIS (спутники Terra и Aqua) и VIIRS (спутник NPP).

Вторая группа методов обычно основана на использовании данных видимого и инфракрасного диапазонов спутниковых приборов, которые чаще всего имеют более высокую пространственную детальность по сравнению со спектральными диапазонами, используемыми при детектировании активного горения. Кроме того, вторая группа подходов применяет методы, позволяющие проводить детальные оценки и ориентированные на использование данных высокого пространственного разрешения (обычно для проведения массовых оценок используются спутниковые данные с разрешением от 10 м до 50 м). При этом следует учитывать, что системы подобного разрешения в настоящее время имеют не очень высокую повторяемость наблюдений и поэтому безоблачные данные, необходимые для проведения оценок, получаются обычно с существенной задержкой после окончания пожара. Нужно также учесть, что при быстром восстановлении растительного покрова на пройденных пожарами территориях часть поврежденных огнем площадей не удастся уверенно детектировать (особенно в случаях весенних пожаров). Кроме того, отметим, что в настоящее время методы картографирования пройденных огнем площадей, ориентированные на использование данных высокого пространственного разрешения, не удастся полностью автоматизировать, в результате чего их использование требует существенных ресурсных и финансовых затрат.

Исходя из приведенных выше факторов, задача получения оперативных оценок пройденных огнем площадей на основе детектирования активного горения является актуальной. Этому вопросу посвящено достаточно большое число работ (Лупян и др., 2003; Loboda, Csiszar, 2005; Loupian et al., 2006; Tansey et al., 2008; Барталев и др., 2012; Пономарёв, Иванов, 2012), показывающих, что оценки площади отдельных пожаров по данным детектирования активного горения могут иметь значительную ошибку, особенно для небольших по размеру очагов горения. Интерес представляет также вопрос точности оценок, получаемых не для отдельных пожаров, а на уровне больших территорий (районов, регионов и т.д.).

Для проведения таких оценок предлагаются разные подходы, в том числе, на основе комплексных оценок с использованием данных различного пространственного разрешения (Лупян и др., 2016). В то же время для оперативной оценки пожаров в конкретном регионе с использованием спутниковых данных фактически единственным источником информации являются результаты детектирования активного горения. Естественно, что при получении таких оценок встает вопрос об их точности. В настоящей работе мы рассмотрим вопрос о точности получаемых оценок площадей, пройденных лесными пожарами, на уровне регионов с использованием данных спутникового детектирования активного горения. Такие оценки в настоящее время выполняются в различных информационных системах, осуществляющих дистанционный мониторинг природных пожаров на территории России, в том числе в Информационной системе дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) (Лупян, Барталев и др., 2015; Барталев и др., 2010; Беляев и др., 2006), спутниковом сервисе Vega-Science (Лупян, Прошин и др., 2015) и объединенной системе работы с данными центров НИЦ «Планета» (Лупян и др., 2014). Подробно схема проведения таких оценок описана в работах (Барталев и др., 2012; Bartalev et al., 2013).

### **Оценки точности измерения площадей отдельных пожаров**

Оценку точности интегральной площади пожаров на уровне региона можно построить в случае, если мы имеем информацию о точности оценок площадей отдельных пожаров. Для получения таких оценок мы проведем сравнение значений площадей, полученных на основе данных детектирования активного горения, и данных, полученных на основе картографирования гарей с использованием спутниковых изображений высокого пространственного разрешения (10–30 м). В настоящее время в качестве массовых эталонных измерений могут быть использованы результаты обработки данных приборов высокого пространственного разрешения OLI-TIRS (LANDSAT-8), ETM+ (LANDSAT-7) и MSI (Sentinel 2). Для картографирования пройденных огнем площадей на основе подобных данных разработана автоматизированная технология (Барталев и др., 2012, 2014).

Для оценки точности был сформирован набор сравнительных данных о лесных пожарах, произошедших в относительно устойчивые периоды вегетации, что позволило минимизировать влияние фенологических факторов на результаты картографирования пройденных огнем площадей. Для картографирования гарей в основном использовались спутниковые данные Landsat, частота получения которых обеспечивает возможность подбора изображений для уточнения пройденных огнем площадей в относительно короткий после завершения пожара период.

Для проведения настоящих исследований были выбраны лесные пожары, зарегистрированные за период с мая по сентябрь 2015 года в различных регионах России, обеспеченные спутниковыми изображениями высокого пространственного разрешения, не под-

верженные влиянию облачности или дымки и отстоящие во времени от даты последнего наблюдения горения для весенних пожаров – не более чем на 2 недели и не более чем на 1,5 месяца – для остальных. Это позволило максимально исключить влияние эффектов восстановления растительного покрова на гаях. Кроме того, проводился только анализ пожаров на покрытой лесом площади. В результате на основе данных спутников Landsat было проведено картографирование 818 гарей в диапазоне площадей от 10 га до 80 000 га, общей площадью более 2,1 млн. Картографирование гарей осуществлялось в системе Вега-Science на основе специально разработанной методики (Кашницкий и др., 2015), позволяющей проводить детальное картографирование пройденных огнем площадей. Пример построения границ гари приведен на рис. 1. Отметим, что до настоящего времени на территории России не проводилось столь массового картографирования гарей с подобной детальностью.

На основе полученного набора данных были проведены оценки погрешности определения площадей пожаров по результатам детектирования активного горения прибором MODIS, процедура которых включала:

- разбиение набора данных на интервалы площадей;
- расчет систематической погрешности (далее –  $CO$ ) в заданных интервалах относительных отклонений;
- расчет среднеквадратического отклонения или случайной составляющей погрешности (далее –  $CKO$ ) в заданных интервалах площадей лесных пожаров;
- рассчитаны аналитических зависимостей  $CO$  и  $CKO$  от площади пожара  $S$ , включая:

$$CO(S) = 3,5006 \times (S)^{-0,322}, \quad (1)$$

$$CKO(S) = 4,9988 \times (S)^{-0,272}. \quad (2)$$

### **Оценки точности измерения пройденных пожарами площадей в различных регионах**

Полученные аналитические зависимости  $CO$  в дальнейшем использовались для коррекции получаемых на основе детектирования активного горения измерений геометрических площадей пожаров. После проведения коррекции отдельных пожаров осуществлялся расчет интегральных площадей, пройденных лесными пожарами в отдельных регионах, и оценка погрешностей получаемых при этом значений.

Оценка относительной ошибки ( $OO$ ) площади, пройденной пожарами в регионе, осуществлялась следующим образом:

$$OO = \sqrt{\sum (CKO_i)^2} / S_{рег}, \quad (3)$$

где  $S_{рег}$  – интегральная площадь пожаров в регионе,  $CKO$  – вычисляется для каждого суммируемого  $i$ -го пожара на основе зависимости (2). Суммирование осуществляется по всем пожарам, наблюдаемым в регионе.

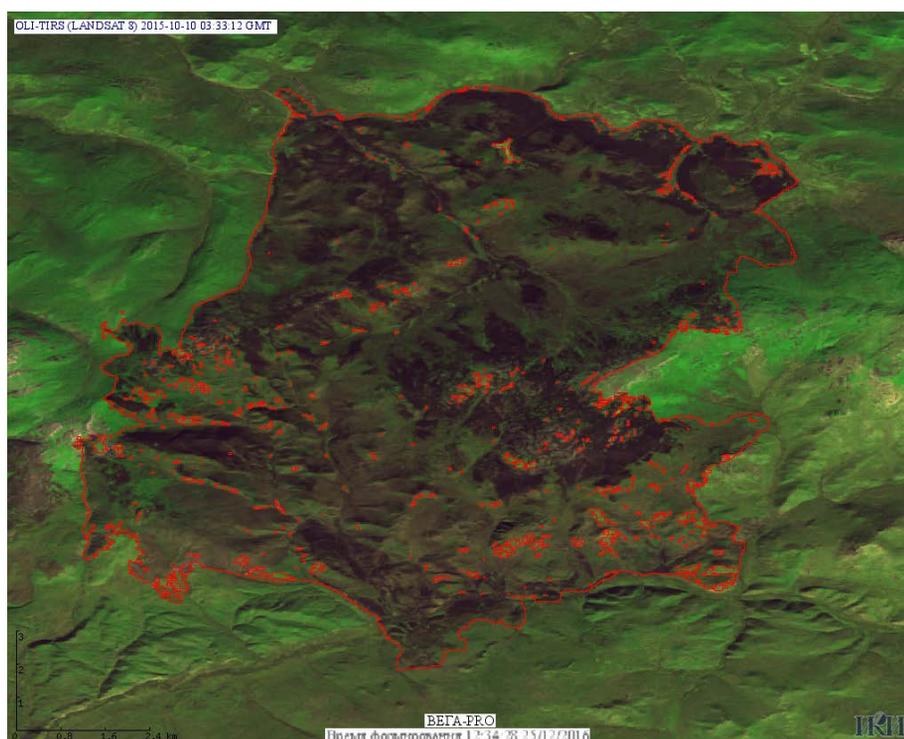


Рис. 1. Пример построения границ пройденной огнем площади в результате пожара, действовавшего с 8 августа 2015 г. по 22 сентября 2015 г. в Республике Бурятия

Для оценки относительной ошибки интегральных площадей лесных пожаров в различных регионах России нами были проанализированы данные наблюдений за период с 2001 по 2016 год. При этом, поскольку аналитическая зависимость  $CKO$  (2) была получена для лесных пожаров, то для анализа выбирались только такие пожары. Кроме того, анализировались интегральные площади только в случаях, когда более 50% площади лесных пожаров, наблюдаемых в регионе, приходились на территорию, покрытую лесом. Всего было проанализировано более 200 таких наблюдений. На рис. 2 приведена зависимость относительных ошибок оценки интегральной площади, пройденной лесными пожарами в анализируемых регионах, от площади, пройденной огнем. Точками на представленном графике отмечены наблюдавшиеся относительные ошибки оценки в различных регионах в различные годы.

На рис. 3 представлено распределение анализируемых случаев оценки интегральной площади лесных пожаров в регионе по значениям полученных относительных ошибок.

Полученные результаты показывают, что более чем в 80% случаев ошибки оценки интегральной площади лесных пожаров в регионах России имеют значения менее 30 процентов. В случае, когда площадь, пройденная лесными пожарами в регионе, превышает 7 000 га, ошибка ее оценки, получаемой на основе информации о детектировании актив-

ного горения по спутниковым данным низкого разрешения (порядка 1 км), не превышает 30 процентов. В регионах с высоким уровнем горимости лесов (более 100 000 га) ошибка оценки площади, пройденной лесными пожарами в регионе, не превышает 10%. В ситуациях, когда интегральная площадь лесных пожаров на исследуемой территории превышает 1 000 000 га, ошибки ее оценки падают до нескольких процентов.

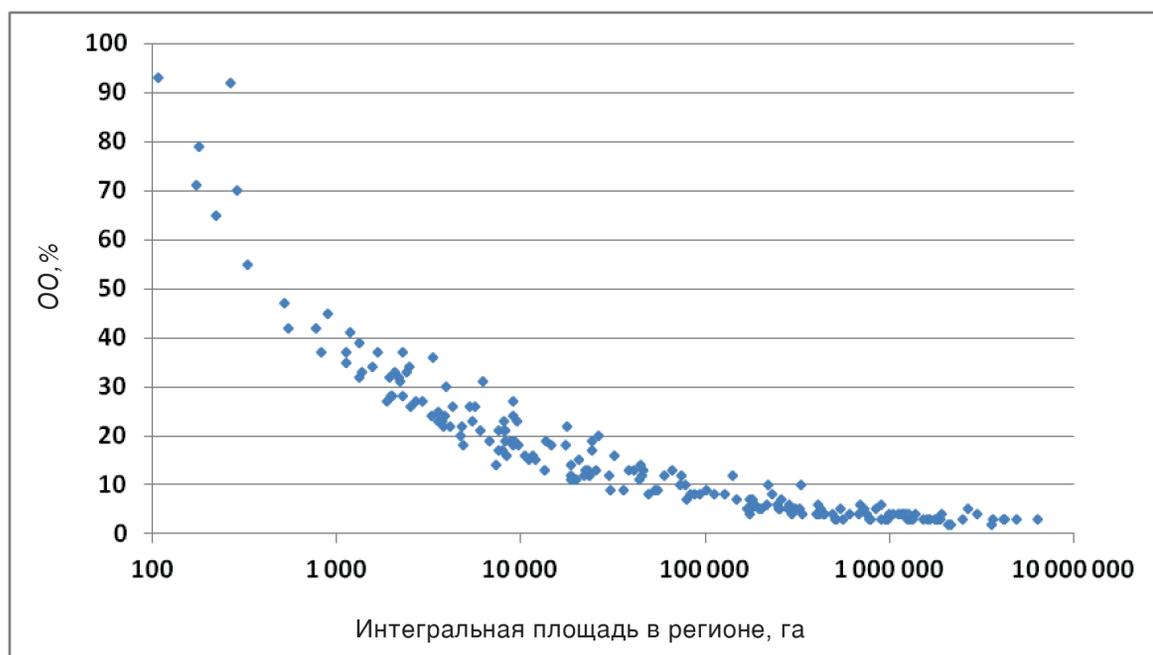


Рис. 2. Зависимость относительных ошибок оценки интегральной площади, пройденной лесными пожарами в анализируемых регионах, от площади, пройденной огнем

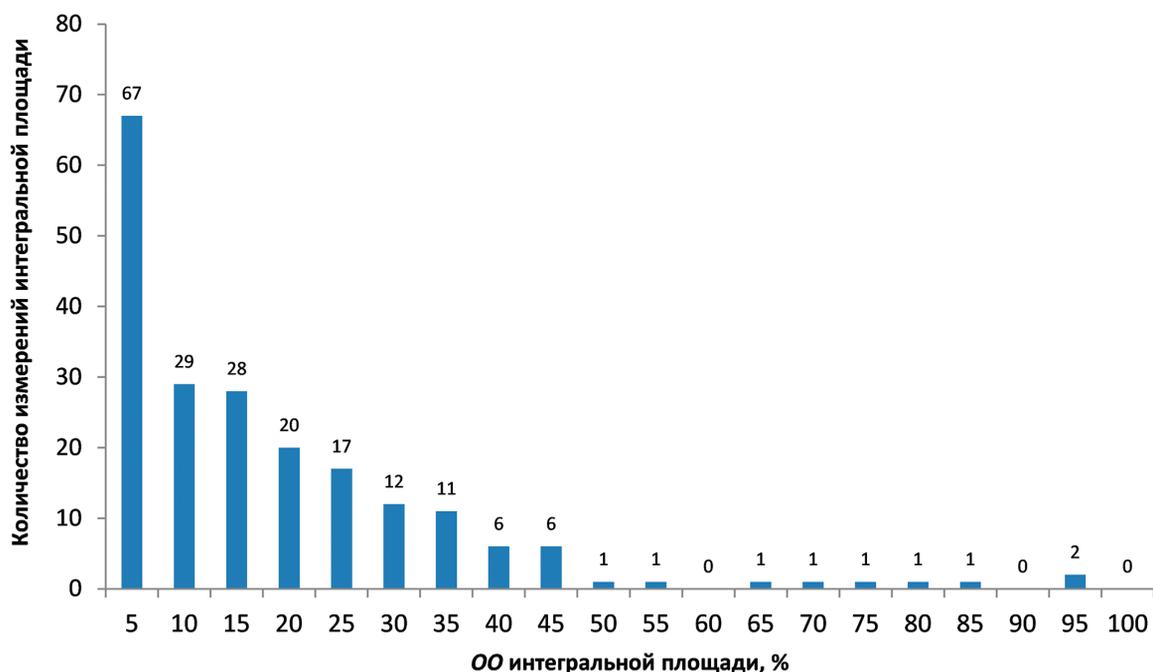


Рис. 3. Распределение анализируемых случаев оценки интегральной площади лесных пожаров в регионе по значениям относительных ошибок

## Заключение

Представленные в работе материалы показывают, что для значительного числа регионов оценка интегральной площади лесных пожаров на основе результатов детектирования активного горения, оперативно получаемых по спутниковым данным низкого пространственного разрешения, имеет достаточно высокую точность. В регионах, в которых наблюдается значительное число пожаров, такие оценки имеют относительные ошибки менее 10%. Анализ, выполненный на уровне всей страны, с учетом того, что за пожароопасный сезон в России лесными пожарами обычно проходится несколько миллионов гектар (Барталев и др., 2015), показывает, что интегральная площадь, пройденная лесными пожарами, может оперативно оцениваться на основе дистанционных наблюдений активного горения с точностью до нескольких процентов.

В то же время следует учитывать, что полученные оценки ориентированы на анализ площадей, проходимых именно лесными пожарами, и не могут непосредственно применяться для пожаров на непокрытых лесом территориях. Анализ таких ситуаций мы планируем провести в дальнейших исследованиях.

Для уточнения получаемых оценок интегральной площади в регионах с малой горимостью и/или небольшим числом лесных пожаров, следует использовать методы, основывающиеся на постпожарной оценке пройденных огнем площадей с использованием данных более высокого пространственного разрешения (Кашницкий и др., 2015; Лупян и др., 2016).

В работе использовались возможности Центра коллективного пользования «ИКИ Мониторинг» (Лупян, Прошин и др., 2015). Работа выполнялась при поддержке Минобрнауки России (Государственный контракт 14.607.21.0122, уникальный идентификатор ПНИ-ЭР RFMEFI60715X0122).

## Литература

1. Барталев С.А., Беляев А.И., Егоров В.А., Еришов Д.В., Коровин Г.Н., Коришунов 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. 2005. Выпуск 2. Т. 2. С. 343–353.
2. Барталев С.А., Еришов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян 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.
3. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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. Вып. 3. Т. 1. С. 341–350.

7. *Егоров В.А., Барталев С.А., Лупян Е.А., Уваров И.А.* Мониторинг повреждений растительного покрова пожарами по данным спутниковых наблюдений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотоъемка. 2006. № 2. С. 98–109.
8. *Кашицкий А.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Барталев С.С., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Стыцено 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.
9. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Еришов Д.В., Котельников Р.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Ковганко К.А., Колбудаев П.А., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Мазуров А.А., Уваров И.А., Стыцено Ф.В., Сычугов И.Г., Флитман Е.В., Хвостиков С.А., Шуляк П.П.* 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. 2015. Т. 12. № 5. С. 222–250.
10. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Еришов Д.В., Стыцено Ф.В.* Методика оценки площадей, пройденных лесными пожарами, на основе данных спутниковых наблюдений // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции. Москва, 20–22 апреля 2016 г. М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 43–46.
11. *Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В., Еришов Д.В., Коровин Г.Н., Новик В.П., Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Кошелев В.В., Тацилин С.А., Татарников А.В., Сухинин А.И., Пономарев Е.И., Гришин А.М., Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Матвиенко Г.Г., Соловьев В.С., Антонов В.Н., Ткаченко В.А.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы. Аналитический обзор. Новосибирск: СО РАН. ИОА. ГПНТБ, 2003. Сер. Экология. Вып. 68. 134 с.
12. *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.
13. *Лупян 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.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А.* 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. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
14. *Пономарев Е.И., Иванов В.А.* Спутниковый мониторинг динамики экстремальных пожаров // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 30. № 3–4. С. 307–311.
15. *Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Uvarov I.A.* Multi-Year Circumpolar Assessment the Area Burnt in Boreal Ecosystems Using SPOT-Vegetation // International Journal of Remote Sensing. 2007. Vol. 28. No. 6. P. 1397–1404.
16. *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 // F. Achard, M.C. Hansen (Eds.). Global Forest Monitoring from Earth Observation. CRC Press, Taylor&Francis Group, 2013. ISBN 978-1-4665-5201-2. P. 259–286.
17. *Fraser R.H., Li Z., Cihlar J.* Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): a new technique for burned area mapping over boreal forest // Remote Sens. Environ. 2000. Vol. 74. P. 362–376.
18. *Grégoire J.M., Tansey K., Silva J.M.N.* The GBA2000 initiative: developing a global burned area database from SPOT-VEGETATION imagery // Int. J. Remote Sens. 2003. Vol. 24. P. 1369–1376.
19. *Loboda T., Csiszar I.* Estimating burned area from AVHRR and MODIS: validation results and sources of error // Contemporary Earth Remote Sensing from Space. 2005. Vol. 2. P. 415–421.
20. *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. 11. P. 113–145.
21. *Roy D.P., Boschetti L., Justice C.O., Ju J.* The Collection 5 MODIS Burned Area Product – Global Evaluation by Comparison with the MODIS Active Fire Product // Remote Sens. Environ. 2008. Vol. 112. P. 3690–3707.
22. *Tansey K., Gregoire J.M.C., Defourny P., Leigh R., Pekel van Bogaert E., Bartholomé E., Bontemps S.* A new, global, multi-annual (2000–2007) burned area product at 1 km resolution and daily intervals // Geophysical Research Letters. 2008. V. 35. L01401.

# Forest burnt area assessment possibilities in regions of Russia based on active fires detection by satellites

F.V. Stytsenko, S.A. Bartalev, A.A. Ivanova, E.A. Loupian, I.G. Sychugov

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia

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

The article focuses on possibilities to assess the forest burnt area using active fires detection results based on Earth observation data of moderate spatial resolution. The burnt area estimates based on near real time active fires detection has been compared with burnt area mapping results based on Landsat images to find area measurements errors in relation to fire size. The method to estimate burnt area accuracy at the regional level is introduced. The analysis of burnt area data for the period of 2001-2016 across entire Russia led to assessment of errors in different regions. The study demonstrates that in 80% of cases, the error of forest burnt area estimates based on active fires detection at the regional level does not exceed 30%. If total forest burnt area in a region exceeds 100 000 ha the error is below 10%.

**Keywords:** burnt area, wild fire detection, burnt area assessment error, satellite data, monitoring, MODIS

Accepted: 10.11.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-289-298

## References

1. Bartalev S.A., Belyaev A.I., Egorov V.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Korshunov N.A., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Validatsiya rezultatov vyavleniya i otsenki ploshchadei, povrezhdennykh pozharami lesov po dannym sputnikovogo monitoringa (Validation of satellite based burned-area assessment), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Issue 2, Vol. 2, pp. 343–353.
2. 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-Rosleskhoz)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 2, pp. 97–105.
3. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V., Otsenka ploshchadi pozharov na osnove kompleksirovaniya sputnikovykh 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.
4. Bartalev S.A., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Panova O.Yu., Efremov V.Yu., Ekspress-kartografirovanie povrezhdenii lesov Rossii pozharami 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.
5. 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.
6. Belyaev A.I., Korovin G.N., Loupian E.A., Sostoyaniye 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.
7. Egorov V.A., Bartalev S.A., Loupian E.A., Uvarov I.A., Monitoring povrezhdenii rastitel'nogo pokrova pozharami po dannym sputnikovykh nablyudenii (Fire caused vegetation damage monitoring using satellite data), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziya i aerofotos'emka*, 2006, No. 2, pp. 98–109.
8. 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.
9. Loupian E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V., Kotel'nikov R.V., Balashov I.V., Burtsev M.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Zharko V.O., Kovganko K.A., Kolbudaev P.A., Krashennnikova Yu.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 dannymi v informatsionnoi sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva (ISDM-Rosleskhoz) (Satellite data processing management in framework of 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.
10. Loupian E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V., Stytsenko F.V., Metodika otsenki ploshchadei, proidennykh lesnymi pozharami, na osnove dannykh sputnikovykh nablyudenii (Forest burn area assessment technique using satellite data), *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom khozyaistve i ekologii*:

*Doklady VI Vserossiiskoi konferentsii* (Aerospace Methods and GIS-Technologies in Forestry, Forest Management and Ecology: Proceedings of the VI All-Russian Conference), Moscow, 20–22 April 2016, Moscow: CEPP RAS, 2016, pp. 43–46.

11. 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, Ecological series, 2003, Issue 68, 134 p.
12. 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 sputnikovykh 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.
13. Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskii A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A., *Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy* (IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
14. Ponomarev E.I., Ivanov V.A., *Sputnikovyi monitoring dinamiki ekstremal'nykh pozharov* (Satellite monitoring of extreme fires dynamic), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2012, Vol. 30, No. 3–4, pp. 307–311.
15. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Uvarov I.A., *Multi-Year Circumpolar Assessment the Area Burnt in Boreal Ecosystems Using SPOT-Vegetation*, *International Journal of Remote Sensing*, 2007, Vol. 28, No. 6, pp. 1397–1404.
16. 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 *Global Forest Monitoring from Earth Observation*, F. Achard, M.C. Hansen (Eds.), CRC Press, Taylor&Francis Group, 2013, ISBN 978-1-4665-5201-2, pp. 259–286.
17. Fraser R.H., Li Z., Cihlar J., *Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): a new technique for burned area mapping over boreal forest*, *Remote Sens. Environ.*, 2000, Vol. 74, pp. 362–376.
18. Grégoire J.M., Tansey K., Silva J.M.N., *The GBA2000 initiative: developing a global burned area database from SPOT-VEGETATION imagery*, *Int. J. Remote Sens.*, 2003, Vol. 24, pp. 1369–1376.
19. Loboda T., Csiszar I., *Estimating burned area from AVHRR and MODIS: validation results and sources of error*, *Contemporary Earth Remote Sensing from Space*, 2005, Vol. 2, pp. 415–421.
20. 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, Vol. 11, pp. 113–145.
21. Roy D.P., Boschetti L., Justice C.O., Ju J., *The Collection 5 MODIS Burned Area Product - Global Evaluation by Comparison with the MODIS Active Fire Product*, *Remote Sens. Environ.*, 2008, Vol. 112, pp. 3690–3707.
22. Tansey K., Gregoire J.M.C., Defourny P., Leigh R., Pekel van Bogaert E., Bartholomé E., Bontemps S., *A new, global, multi-annual (2000–2007) burned area product at 1 km resolution and daily intervals*, *Geophysical Research Letters*, 2008, Vol. 35, pp. L01401.