

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТЕГОРИЙ ПОЖАРОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В СИБИРИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ И ДРУГИХ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2013 г. Е. И. Пономарев*, Е. Г. Швецов

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

**E-mail: evg@ksc.krasn.ru*

Поступила в редакцию 21.02.2013 г.

Представлены результаты обработки базы данных о пожарах растительности за период 1996–2012 гг., созданной на основе спутникового детектирования в тепловом диапазоне термически активных зон. Обсуждаются результаты анализа характеристик пожаров на территории Сибири. Выделена категория “короткоживущих” объектов – однократные наблюдения термически активных зон, а также категория крупноразмерных пожаров. Исследован вклад выделенных категорий пожаров в итоговые статистики горимости. Получены картосхемы пространственного распределения пожаров растительности в Сибири и оценки уровня их воздействия на лесные территории.

Ключевые слова: спутниковая съемка, база данных, термически активная зона, пожар растительности, геопрограммный анализ

DOI: 10.7868/S0205961413050035

ВВЕДЕНИЕ

Детектирование термически активных зон – одно из важнейших применений данных съемки со спутников, выполняемой в инфракрасном ($\lambda = 3–12$ мкм) тепловом диапазоне для целей мониторинга за пожарами растительности. Данное направление активно развивается с середины 90-ых годов прошлого века как за рубежом, так и в России. В частности, исследования в этом направлении проводятся в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН для территории Сибири и всей азиатской части России. Регулярные наблюдения за пожарами с использованием спутникового оборудования были начаты в 1995 г. с установкой в Красноярске станции приема информации в канале HRPT (High Resolution Picture Transmissions) со спутников серии NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) и, позже, с установкой станции приема информации со спутников Terra, Aqua (Sukhinin et al.; 1999, Lourean et al., 2006). На сегодняшний день существует возможность оперировать банком данных термически активных зон, зафиксированных со спутников в течение периода 1996–2012 гг.

Термически активные зоны после предварительной обработки интерпретируются как пожары растительности. В частности, проводится анализ и исключаются “ложные тревоги”, сигналы от техногенных или антропогенных источников, солнечные блики на поверхностях с высоким ко-

эффициентом отражения и т.д. Спутниковые данные, таким образом, являются важной составляющей системы мониторинга пожаров, наряду с результатами авиационного и наземного обнаружения пожаров. При этом спутниковые методы позволяют получить большую детализацию при наблюдении за наиболее крупными пожарами, так как обеспечивают необходимую периодичность съемки и охват зоны развития и распространения пожара.

Многолетние базы данных спутникового мониторинга пожаров неоднократно сравнивались с лесопожарной статистикой, получаемой как дистанционными, так и наземными и авиационными средствами. Во многих работах отмечается высокая корреляция между результатами альтернативных методик наблюдений за многолетней динамикой пожаров, но количественные характеристики площадей, пройденных огнем, могут существенно отличаться и требуют дополнительных калибровок (Petkov et al., 2012; Барталев и др., 2012). Таким образом, актуальными являются вопросы анализа достоверности итоговых баз данных о пожарах, фиксируемых спутниковыми средствами, а также необходимой калибровки количественных показателей горимости и оценки уровня воздействия пожаров на лесные территории Сибири.

Основная цель данной работы – провести классификацию пожаров растительности на тер-

ритории Сибири и исследовать характеристики выделяемых категорий пожаров.

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В последние десятилетия проблема лесных пожаров является актуальной и остро стоит во многих странах мира, включая и Россию. Высокие показатели числа пожаров и площадей, пройденных огнем, регистрируются ежегодно в различных районах на территории Сибири. В 2010 г., наряду с экстремальной горимостью европейской части России (Бондур, 2011), зафиксировано более 18 тыс. пожаров в лесной и лесостепной зонах юга Сибири. В 2011 г. число пожаров превышало 24 тыс. Экстремальная ситуация сложилась в 2012 г., в течение пожароопасного сезона (март–сентябрь) на территории Сибири произошло более 23 тыс. пожаров. При этом было зафиксировано более 2200 крупных и экстремально крупных пожаров, площадь которых превышает 2000 га. Отмечено, что пожары в Сибири в 2012 г. обусловили экстремальный вклад в эмиссию атмосферы (Panov et al., 2012), что определялось показателями горимости, существенно превышающими значения предыдущего периода спутниковых наблюдений 1999–2010 гг. (Sukhinin, 2008; Швиденко и др., 2011). Наиболее крупные пожары в последние годы повторялись на территории Якутии, в Прибайкалье, на севере Красноярского края, в Томской обл. и республике Тыва.

По нашим оценкам, отражающим ситуацию последнего десятилетия, на территории Сибири до 90% общих площадей, пройденных огнем, приходится на экстремально крупные пожары. Из общего числа пожаров до 45% распространяются на площадях менее 100–200 га, около 50% пожаров, детектируемых спутниковыми методами, имеют площади до 1000 га, а 5% составляют пожары, относимые к крупноразмерным, площади которых превышают 2000 га.

По оценкам, на территории Сибири в начале двухтысячных годов ежегодно пожарам растительности различной интенсивности подвергалась территория 2–17 млн га (Conard et al. 2002; Soja et al., 2004; Швиденко и др., 2011). Наши данные для последних лет согласуются с этими оценками, причем суммарные площади пожаров остаются на уровне многолетних максимумов. В течение последних 17 лет наблюдается тренд увеличения числа регистрируемых пожаров растительности и повреждаемых огнем площадей. Такая динамика определяется как повышением уровня антропогенного влияния и изменением режима ведения лесного и сельского хозяйства (Ivanov, Ponomarev, 2012), так и возможными климатическими изменениями. В частности, отмеча-

ется, что при сравнении долговременных метеорологических параметров и количества пожаров на территории Сибири наблюдается высокая корреляция с ходом температурной кривой (Швиденко и др., 2011; Ponomarev et al., 2012).

МЕТОДЫ

В настоящей работе объектами исследования были пожары растительности, детектируемые со спутников как термически активные зоны. Используемый банк данных содержит информацию за пожароопасные периоды 1996–2012 гг. Материалы были получены при непосредственной ежедневной обработке данных спутниковых съемок с NOAA/AVHRR (с 1996 г.) и Terra/MODIS (с 2007 г.), выполняемых в Центре коллективного пользования Красноярского научного центра СО РАН Институтом леса СО РАН.

Рассматриваемый район исследований охватывает большую часть азиатской России и ограничен на западе Уральскими горами, а на востоке в зону мониторинга не входят только Чукотка и Камчатка. В широтном направлении – вся территория от южной границы до побережья Северного ледовитого океана.

Используемая в работе база данных содержит порядка 2×10^4 записей за год, за весь период наблюдений анализируются 3.4×10^5 записей. К атрибутивным параметрам, на основе которых был проведен анализ, отнесены данные о площади термически активной зоны, площади полигона пожара, вычисленной средствами географических информационных систем (ГИС), координаты центров полигонов, кратность регистрации, а также совокупная длительность детектирования объекта (от момента обнаружения до момента последней регистрации термически активной зоны). Таким образом, используемый массив выборки удовлетворяет условиям проведения статистического анализа, а длительность рассмотренного ряда (17-летний период) позволяет характеризовать общие закономерности пожарных режимов и их повторяемости на территории Сибири.

Алгоритм обнаружения термически активных зон основан на определении соотношения между значениями радиационной температуры участка поверхности (пиксела), измеренной спутниковым радиометром, и заданного порогового значения. Величина порога рассчитывается на основании средней температуры фона и ее среднеквадратичного отклонения в окрестности потенциального очага пожара с учетом эмпирически определенных числовых коэффициентов. Подобный подход к обнаружению термически активных зон широко применяется во многих альтернативных алгоритмах обнаружения пожаров, например в алгоритме

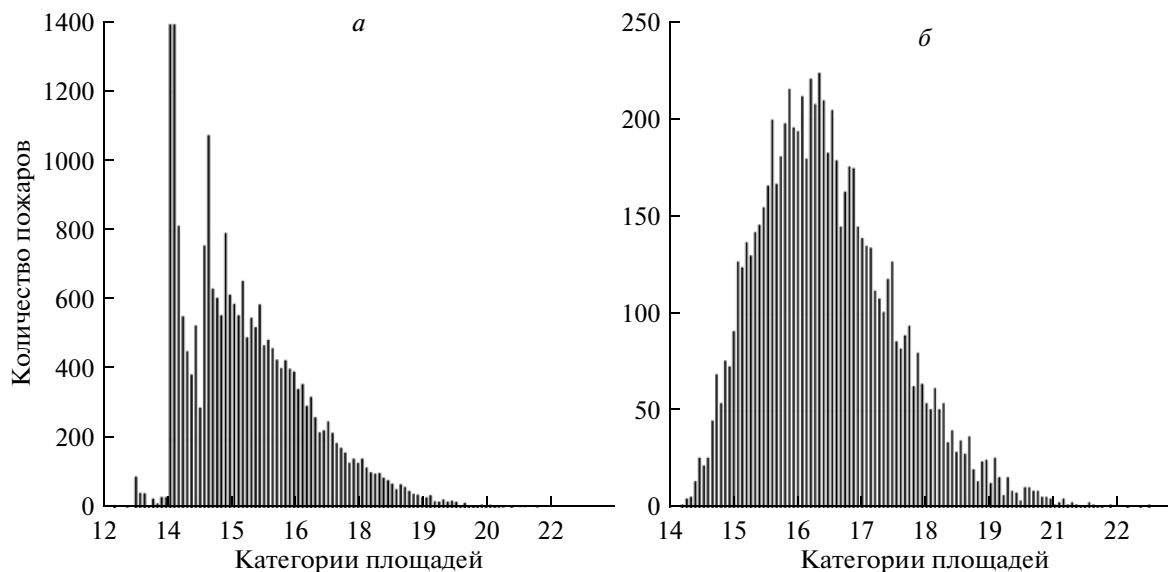


Рис. 1. Пример гистограммы распределения событий лесных пожаров по площадям в 2012 г.: *a* – с учетом всех термически активных зон (23707 записей); *б* – при исключении “короткоживущих” объектов, зафиксированных спутниковыми средствами однократно в весенний период (7894 записей).

FIRMS/NASA (Fire Information for Resource Management System) (Kaufman, Justice, 1998; Giglio et al., 2003).

Основной инструмент проведения исследований – геопространственный, временной и гистограммный анализы распределения термически активных зон и сопряженный анализ этой информации с материалами многоспектральной спутниковой съемки. Дополнительная калибровка и валидация данных проводится с использованием съемки среднего пространственного разрешения Landsat и SPOT.

Данные спутникового мониторинга после проведения процедуры обработки сравнивались с материалами альтернативных ресурсов (таких, как данные Рослесхоза, NASA) посредством корреляционного анализа.

На основе анализа вариограмм с использованием подхода геопространственной интерполяции (метод кригинга) (Матерон, 1968) получены данные о пространственном распределении уровня воздействия крупных и экстремально крупных пожаров на лесные территории. Результат получен в формате векторных полигональных ГИС-покрытий, калиброванных по уровню воздействия на рассматриваемую территорию.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

“Короткоживущие” объекты в базе данных пожаров

Статистический анализ экспериментальных данных, включая геопространственный, может

быть выполнен для распределения, имеющего случайный характер и подчиняющегося закону распределения Гаусса (Отнес, Эноксон, 1982). В работе анализировались экспериментальные данные о количественных характеристиках пожаров, представляющие собой, в частности, двумодальные распределения (рис. 1*a*), которые требуют дополнительной предобработки перед применением статистических методов.

В общей базе данных был реализован запрос, исключающий обработку выделенных нами “короткоживущих” объектов. Такие объекты были внесены в базу данных, при этом фиксировались однократно и не были отмечены в результате первого анализа исключая “ложные тревоги”. Данная процедура позволила получить распределение оставшейся части данных близкое к нормальному (рис. 1*б*), что обосновало использование статистических методов в анализе.

Выделенная из базы данных категория “короткоживущих” объектов представляет собой записи о пожарах, зафиксированных на нелесных территориях. После дополнительного обследования с привлечением съемки среднего пространственного разрешения эти территории классифицированы как земли с.-х. назначения, а пожары на этих землях отнесены к с.-х. палам. Идентификация этой категории пожаров подтверждается сроками регистрации, продолжительностью горения, а также пространственной приуроченностью.

Выделенный класс “короткоживущих” объектов встречается ежегодно за период 1996–2012 гг. Установлено, что количество таких объектов в ба-

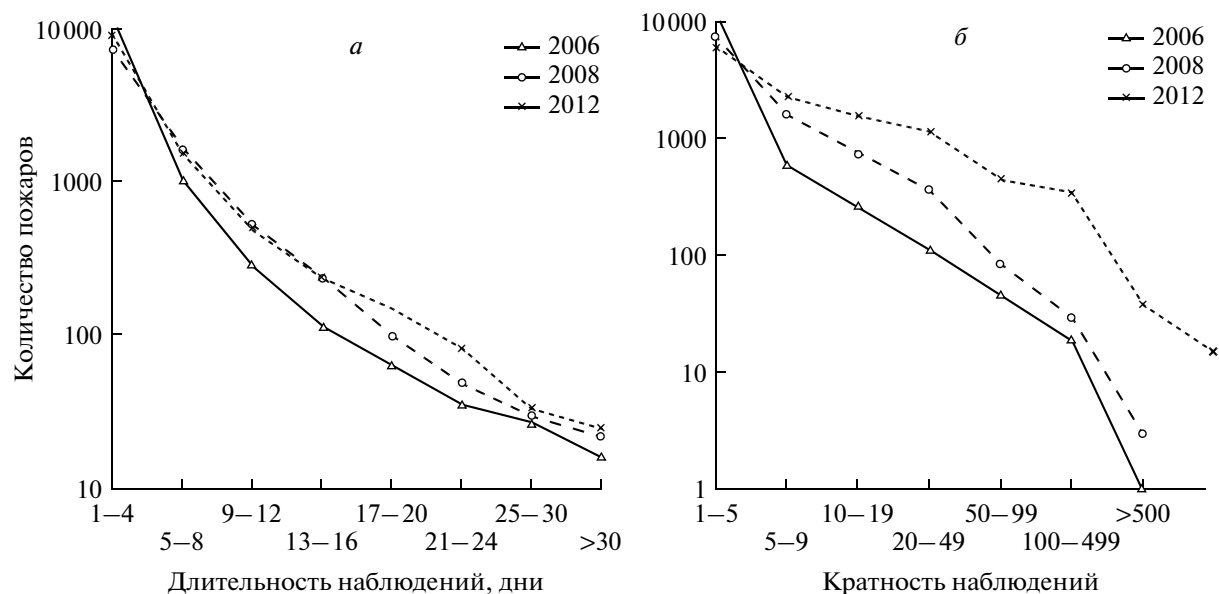


Рис. 2. Гистограмма распределения событий пожаров за разные годы: а – по длительности наблюдения; б – кратности наблюдения без учета категории пожаров, отнесенных к “короткоживущим” объектам.

зе данных за указанный период варьирует на уровне 45–65% по числу регистрируемых пожаров, а площадь может составлять до 30%. Например, в 2012 г. более 50% пожаров были зафиксированы спутниковыми методами однократно, так что статистика площадей пожаров на с.-х. землях составила 15% от итоговых значений за год. Срок регистрации объектов данной категории – весенний период (март–вторая декада мая). На основе сопряженного анализа, проведенного для выборочных объектов указанной категории, с данными спутниковой съемки среднего пространственного разрешения (SPOT и Landsat) подтверждено, что большая часть таких возгораний располагается в степной и лесостепной зонах, на территориях с.-х. назначения, а также в долинных природных комплексах лесостепной зоны.

Характерный размер “короткоживущих” объектов составляет 280 га, а варьирование площади наблюдается в диапазоне от 25 до 800 га. Эти величины согласуются с характерными размерами с.-х. угодий. Ограничения технического плана, в частности, пространственное разрешение (1000 м) аппаратуры, работающей в тепловом диапазоне, не позволяет достоверно фиксировать площадь малоразмерных термически активных зон. Это ограничение особенно значимо при детектировании малоразмерных пожаров в лесах. В рассматриваемом случае калибровка итоговой статистики с учетом выявленной категории пожаров существенно повышает достоверность результатов спутникового мониторинга.

Проведена оценка уровня завышения итоговых площадей (рис. 3) на основе результатов классификации пожарной базы данных. Полученный показатель варьирует в диапазоне 3.8–5.9 млн га, составляя в среднем за 17-летний интервал наблюдений величину более 4 млн га/год. При этом необходимо учесть, что используемый алгоритм и оборудование могут приводить к пятикратному завышению фиксируемой площади горящего полигона в отдельных случаях.

Крупные и экстремально крупные лесные пожары

Противоположный класс объектов в базе данных спутникового мониторинга составляют пожары, развивающиеся на площадях 2000 га и более, которые согласно современной классификации относятся к крупным или экстремально крупным пожарам (Валендик, 1990; Иванов и др., 2011; Андреев, Брюханов, 2011). Пожары этой категории возникают и развиваются в труднодоступных районах, на лесных территориях, мониторинг которых ведется в основном с привлечением спутниковых средств.

В соответствии с результатами долговременного спутникового мониторинга установлено, что до 90% площадей всех пожаров в год есть результат воздействия экстремально крупных лесных пожаров. Анализируя варьирование числа крупноразмерных пожаров на территории Сибири, можно отметить, что в первом приближении присутствует линейный тренд увеличения количества таких пожаров. Если рассматривать количество крупноразмерных пожаров как характери-

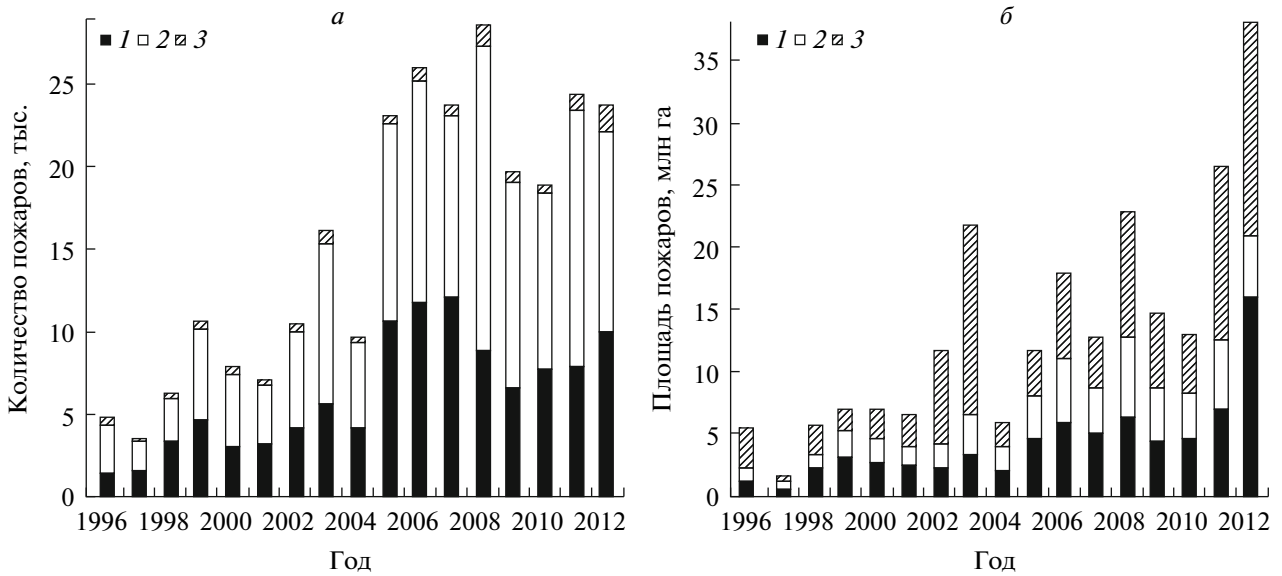


Рис. 3. Соотношение зарегистрированных пожаров по категориям: 1 – пожары промежуточных категорий; 2 – “короткоживущие” объекты; 3 – крупные пожары: а – количество пожаров, б – суммарные площади пожаров.

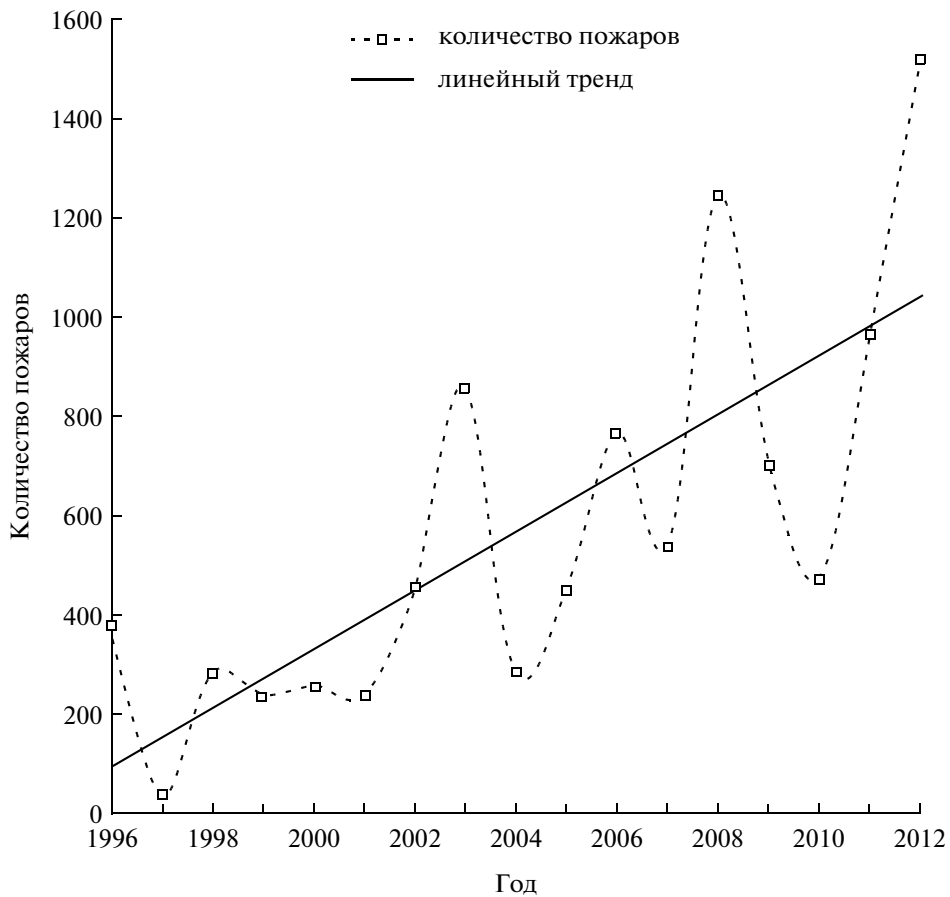


Рис. 4. Вариация числа экстремально крупных пожаров (итоговая площадь гарей более 2000 га) на территории азиатской части России за период 1996–2012 гг.

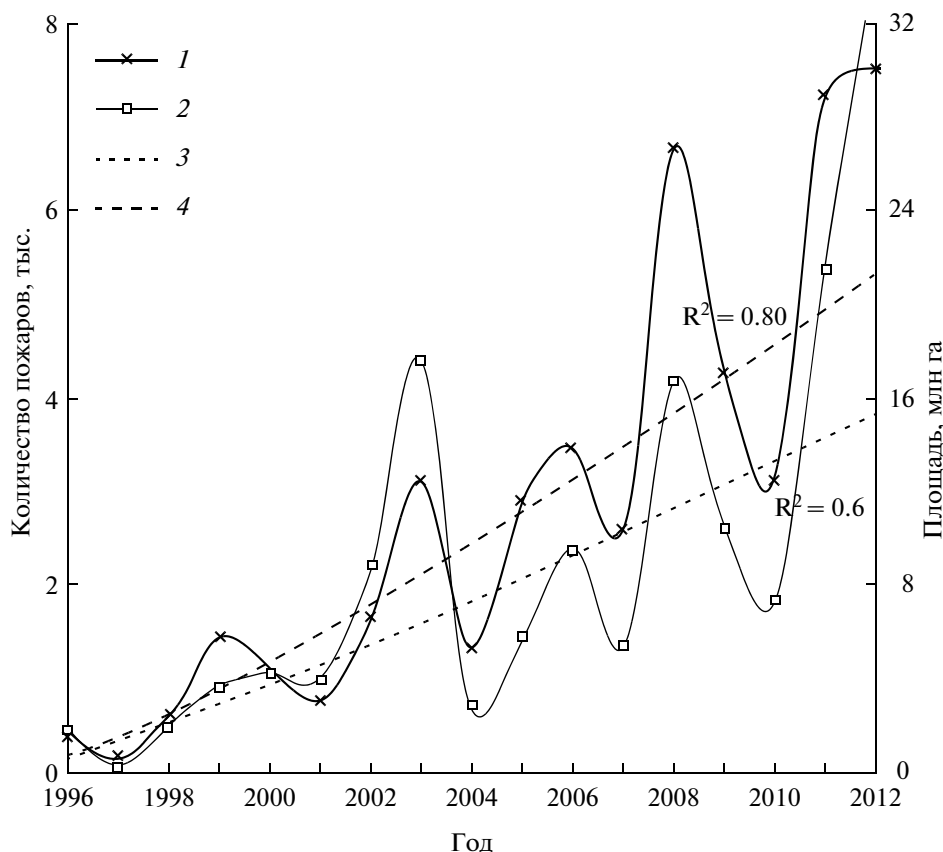


Рис. 5. Статистика природных пожаров, зафиксированных спутниковыми методами на территории азиатской части РФ: 1 – количество пожаров; 2 – общая площадь; 3, 4 – степенные тренды для площади и количества соответственно.

стику напряженности пожарных сезонов, то можно сделать вывод о периодичности их повторения на территории Сибири каждые 3–5 лет (рис. 4).

Можно выделить два периода: 1996–2001 гг. с количеством экстремально крупных пожаров 40–378, и период 2002–2012 гг., когда данный показатель составил 285–1500 пожаров в год.

На основе данных о вариации числа крупных и экстремально крупных пожаров можно отметить, что после пожароопасного сезона 2001 г. наблюдается скачкообразное увеличение количества таких пожаров, при этом среднее за год число возросло с 200 до 750. Данный факт, по нашему мнению, не может быть отнесен к техническим или методическим особенностям проведения спутниковой регистрации пожаров, так как речь идет об объектах, детектируемых с высокой вероятностью, многократно и с достаточной точностью оценки площади.

Ранее нами были получены оценки скоростей распространения тактических элементов пожара (скорости фронта, фланга и тыла) для выборки наиболее крупных пожаров в Сибири (Пономарев, Иванов, 2012). При этом установлена экстремаль-

но высокая (до 300 м/ч) скорость продвижения фронта пожара. По порядку величины это может соответствовать предельному случаю развития верхового пожара (Доррер, 2008; Валендик, 1990). Согласно анализу базы данных спутникового мониторинга пожаров в ГИС, крупные пожары детектируются как серия полигонов, соответствующих термически активным зонам, которые в свою очередь являются результатами возникновения новых очагов горения предположительно от перебросов горящих частиц. Итоговый полигон пожара в среднем формируется из 50–100 отдельных наблюдений, а кратность наблюдений спутниковыми методами крупных пожаров составляет от 30 до 900 раз. Этот факт объясняет присутствие на гистограмме (рис. 2) пожаров соответствующих категорий, а также длительность наблюдения за отдельными случаями пожаров более 30 дней.

Таким образом, основная проблема при обработке данных о крупных и экстремально крупных пожарах заключается в анализе пространственно-временных характеристик серии наблюдений за объектами, развивающимися на больших площадях, сопровождающихся размыканием горячей кромки, возникновением новых очагов в зоне

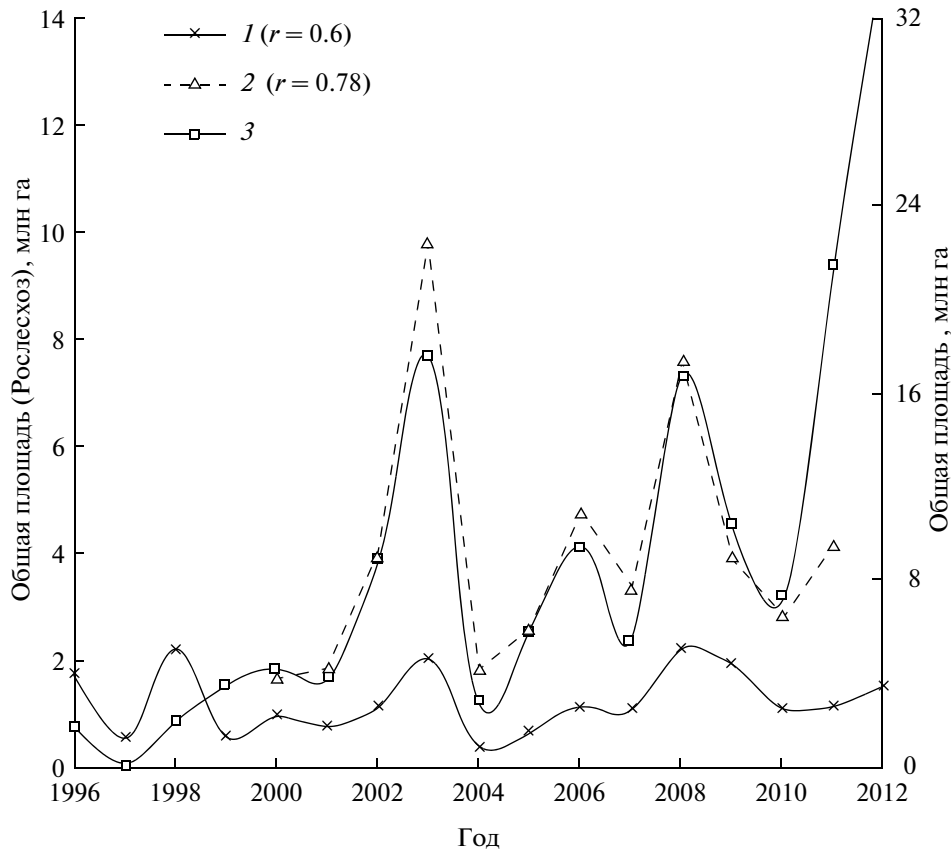


Рис. 6. Корреляционный анализ данных о фиксируемых природных пожарах: 1 – по информации Рослесхоза; 2 – по информации FIRMS/NASA; 3 – по данным Института леса СО РАН. Уровни корреляции (r) приведены в сравнении с результатами Института леса СО РАН.

функционирования пожара или объединением отдельных зон горения в единый полигон. Данная задача решается путем введения временной (время варьируется в диапазоне 3–5 дней) и пространственной (радиус невязки варьируется в диапазоне 250–500 м) буферных зон, на основании которых ведется дополнительная обработка и агрегация полигонов термически активных зон средствами ГИС.

Геопространственный анализ воздействия пожаров

Адаптация метода детектирования спутниковых данных позволила повысить уровень достоверности итоговой статистики площадей пожаров, что подтверждается уровнем корреляции с данными альтернативных источников информации. В финальной статистике (рис. 5) были учтены поправки, связанные с исключением пожаров на землях с.-х. назначения, а также введены некоторые корректировки после дополнительной обработки категории объектов в базе данных, связанных с крупными и экстремально крупными пожарами. Уравнения трендов (рис. 5) в первом

приближении имеют степенной вид ($ax^{1.2}$), величина достоверности аппроксимации 0.62 и 0.80 для числа пожаров и общей площади соответственно. По нашим оценкам, ошибка определения площади крупных пожаров составляет не выше 15%, в то время как для малоразмерных источников (в основном пожаров на землях с.-х. назначения) ошибка может быть пятикратной.

Результат сравнительной характеристики, проведенной на основе статистических данных о пожарах, зафиксированных спутниковыми, авиационными и наземными методами (Рослесхоз), а также альтернативными спутниковыми методиками (NASA) на сопоставимых территориях, включающих субъекты Уральского, Сибирского и Дальневосточного Федеральных округов, представлен на рис. 6. Уровень корреляции между представленными данными ($r = 0.60$ и $r = 0.78$) следует отнести к значимому, что характеризует достоверность оценки динамики горимости территории исследования. В то же время причины различий абсолютных значений требуют серьезного самостоятельного анализа и определяются, по нашему мнению, особенностями формирования итоговой статистики, в частности, включением/не

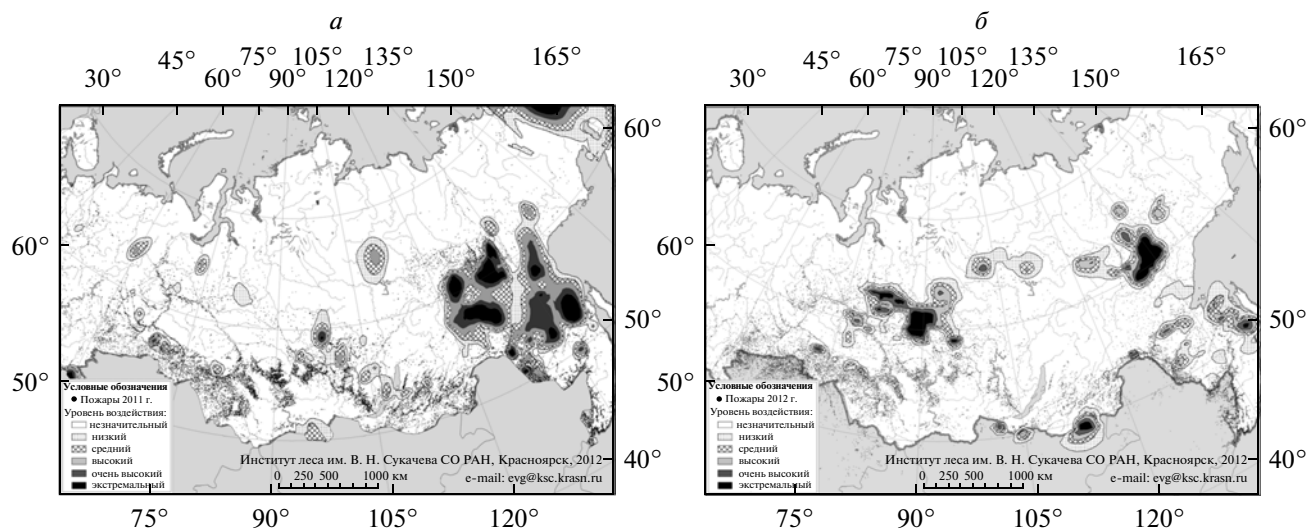


Рис. 7. Сравнение уровней воздействия пожаров растительности в: *а* – 2011 г., *б* – 2012 г. Зафиксированные пожары отмечены точками, заливка полигонов соответствует уровню воздействия крупных пожаров.

включением нелесных или малоразмерных пожаров, возгораний на с.-х. землях, ограничениями технического плана, особым статусом территорий, относимых к зоне спутникового мониторинга и т.д.

Таким образом, среднее значение площади, пройденной пожарами в год за период наблюдений на территории азиатской части России, по данным спутникового мониторинга, составляет до 9 млн га.

Проведен геопространственный анализ приуроченности и повторяемости пожаров различных категорий на территории азиатской части России, согласно описанной выше методике кригинг-интерполяции. Опосредовано данное распределение позволяет характеризовать уровень воздействия пожаров на территорию.

Полученные для отдельных годов периода 2006–2012 гг. пространственные вариации уровня воздействия пожаров растительности на территории представлены в формате векторных полигональных покрытий (рис. 7).

До 70% пожаров, фиксируемых в начале пожароопасного периода, относятся к степной и лесостепной зоне юга Сибири, длительность таких пожаров не превышает 24–48 ч, а площади не превышают 100–200 га. Данная величина площади – порог, определяемый техническими возможностями спутниковой аппаратуры. При этом воздействие от пожаров данной категории по примененной шкале отнесено к наименьшему классу (рис. 7). Основной вклад в статистику пожаров и их влияния следует относить на долю крупных и экстремально крупных пожаров растительности. Пожары данной категории объективно характе-

ризуют напряженность пожароопасного сезона, а уровень воздействия пожаров на территорию может характеризоваться концентрацией наиболее крупных пожаров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе спутникового мониторинга проведен анализ статистических данных о пожарах в Сибири в современных условиях. Результаты проведенного анализа и процедура классификации базы данных спутникового детектирования пожаров растительности позволили адаптировать итоговую статистику о пожарах на территории Сибири и азиатской части России. Процедура такого рода, выполняемая в оперативном режиме, существенно повышает информативность и достоверность результатов обработки спутниковых данных на этапе, когда техническое усовершенствование средств мониторинга еще не реализовано либо не вошло в оперативную практику.

В современных условиях на территории Сибири до 90% общих площадей, пройденных огнем, приходится на экстремально крупные пожары, которые составляют около 5% общего числа пожаров растительности.

В общей базе данных спутникового мониторинга за период 1996–2012 гг. выделена категория “короткоживущих” объектов, фиксируемых спутниковыми методами однократно, которые отнесены к с.-х. палам. Суммарная площадь таких пожаров составляет от 15 до 30% территорий, пройденных огнем в отдельные годы. Эта категория критически важна при подсчете итоговых статистик горимости. Категория пожаров, относящиеся к крупным или

экстремально крупным, определяет уровень напряженности пожароопасного сезона.

Построенный долговременный ряд (2006–2012 гг.) пространственной вариации зон концентрации крупных пожаров позволяет оценить фактическую лесопожарную ситуацию в течение сезона. Кроме того, могут быть прослежены закономерности повторяемости крупных пожаров, а вместе с тем возможен прогноз развития пожароопасной ситуации с учетом метеорологических факторов. Формирование условий для возникновения крупных и катастрофических пожаров определяется антициклоническими процессами континентального масштаба, а основой для мониторинга в таких масштабах безальтернативно является система спутникового наблюдения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности, а также проектов NASA (№10-05-043) и USDA Forest Service (№ 10-IC-11132762-208).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев Ю.А., Брюханов А.В.* Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае-Саянского экорегиона). Красноярск, 2011. 272 с.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценок Ф.В., Флитман Е.В.* Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-ТМ/ЕТМ+ // Современ. пробл. дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9–26.
- Бондур В.Г.* Космический мониторинг природных пожаров в России в условиях аномальной жары 2010 г. // Исслед. Земли из космоса. 2011. № 3. С. 3–13.
- Валендик Э.Н.* Борьба с крупными пожарами. М.: Наука, 1990. 193 с.
- Доррер Г.А.* Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 404 с.
- Иванов В.А., Иванова Г.А., Москальченко С.А.* Справочник по тушению природных пожаров. Проект ПРООН/МКИ. Красноярск, 2011. 130 с.
- Матерон Ж.* Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968. 407 с.
- Отнес Р., Энксон Л.* Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. М.: Мир, 1982. 428 с.
- Пономарев Е.И., Иванов В.А.* Спутниковый мониторинг динамики экстремальных пожаров // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. XXXI. № 3–4. С. 307–311.
- Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Ваганов Е.А., Сухинин А.И., Максюттов Ш.Ш., МкКаллум И., Лакида И.П.* Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет // Докл. РАН. 2011. Т. 441. № 4. С. 544–548.
- Conard S.G., Sukhinin A.I., Stocks B.J., Cahoon D.R., Davidenko E.P., Ivanova G.A.* Determining effects of area burned and fire severity on carbon cycling and emissions in Siberia // Clim. Change. 2002. V. 55. № 1–2. P. 197–211.
- Giglio L., Descloitres J., Justice C.O., Kaufman Y.J.* An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS // Rem. Sens. Environ. 2003. V. 87. P. 273–282.
- Ivanov V.A., Ponomarev E.I.* Analysis of actual fire occurrence in the Altai-Sayan ecoregion and its protected areas // Fire danger mitigation: a strategy for protected areas of the Altai-Sayan ecoregion / Eds. A.A. Onuchin, A.S. Shishikin. Krasnoyarsk, 2012. P. 4–25.
- Kaufman Y.J., Justice C.O.* MODIS ATBD: Fire Products (Ver. 2.2. Nov. 10, 1998) // EOS ID#2741. 1998. 77 p.
- Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Koshchev 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.* Satellite monitoring of forest fires in Russia at federal and regional levels // Mitigat. and Adapt. Strat. Glob. Change. 2006. V. 11. № 1. P. 113–145.
- Panov A., Chi X., Winderlich J., Birmili W., Lavrič J., Ponomarev E., Andreae M.* Assessment of biomass burning emissions to the atmosphere from the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO) in Central Siberia // Int. Workshop on Impact of Climate Change on Forest and Agricultural Ecosystems and Adaptation Strategies. Krasnoyarsk: Siber. St. Univ., 2012. P. 41.
- Petkov A., Wei Min Hao, Nordgren B., Corley R., Urbanski S.P., Ponomarev E.I.* Evaluating the accuracy of a MODIS direct broadcast algorithm for mapping burned areas over Russia // AGU Ann. Meet.: NEESPI Session. Vienna, 2012.
- Ponomarev E.I., Valendik E.N., Kisilyakhov Y.K.* Satellite monitoring of large scale wildfires in Siberia // Int. Workshop on Impact of Climate Change on Forest and Agricultural Ecosystems and Adaptation Strategies. Krasnoyarsk: Siber. St. Univ., 2012. P. 24.
- Soja A.J., Sukhinin A.I., Cahoon Jr. D.R., Shugart H.H., Stackhouse P.W.* AVHRR-derived fire frequency, distribution and area burned in Siberia // Int. J. Rem. Sens. 2004. V. 25. № 10. P. 1939–1960. doi:10.1080/01431160310001609725.
- Sukhinin A.I., Kashkin V.B., Ponomarev E.I.* Monitoring of forest fires in Eastern Siberia from space // Proc. SPIE. 1999. V. 3983. P. 206–214.
- Sukhinin A.I.* Space monitoring and analysis of catastrophic fires in Central Siberia and Far East // North-East Asia, A la Carte. Center for North-East Asian Studies. Tohoku Univ., 2008. V. 19. P. 19–23.

Characteristics of Vegetation Fire Categories in Siberia, According to Satellite-Based and other Observations

E. I. Ponomarev, E. G. Shvetsov

V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk

The results of pre-processing of satellite detected wildfires database are presented for 1996–2012. The results of wildfire characteristics analysis over Siberia are discussed. “Short-living” wildfires objects have been classified as well as large-scale wildfires category. The contribution of selected categories of fires into the summary statistics was estimated. Analysis of the spatial distribution and the impact of large-scale fires on forest vegetation were produced for the territories of Siberia.

Keywords: satellite remote sensing, database, hot spot, wildfire, geospatial analysis