

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНТЕКСТУАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ПРИ ДЕТЕКТИРОВАНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Пономарчук А.И.

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), e-mail: aponomarchuk@psu.ru

Контекстуальный алгоритм MOD14 (использование данных спектрорадиометра MODIS) детектирования пожаров в активной фазе использует параметры расчета, адаптированные для условий планеты в целом – так, чтобы свести к минимуму количество ложных сигналов. В условиях бореальных северных лесов с высокой растительностью и густыми кронами деревьев чувствительность метода резко снижается, приводя к многочисленным пропускам сравнительно крупных возгораний в лесной зоне. Работа посвящена оптимизации параметров контекстуального алгоритма с целью повышения достоверности детектирования (отношение числа подтвержденных пожаров к общему числу детектированных тепловых аномалий). Для существующих условий количество подтвержденных пожаров удалось увеличить в три раза, при этом общая достоверность детектирования осталась на уровне «стандартных» параметров. Основной прирост подтвержденных пожаров пришелся на пожары техногенного происхождения. Данный результат получен для пороговых значений яркостной температуры в 21 канале спектрорадиометра MODIS (диапазон 4 мкм) 295K/290K (день/ночь), в то время как в стандартном алгоритме используются значения 310K/305K.

Ключевые слова: лесные пожары, детектирование, контекстуальный алгоритм, MODIS, ДЗЗ, дистанционное зондирование Земли.

OPTIMIZATION OF THE CONTEXTUAL ALGORITHM PARAMETERS ON FOREST FIRES DETECTION USING EARTH REMOTE SENSING DATA

Ponomarchuk A.I.

Perm State National Research University, Perm, Russia (614990, Perm, Bukireva str., 15), e-mail: aponomarchuk@psu.ru

The contextual algorithm MOD14 (use of spectroradiometer MODIS data) for active fires detection uses calculation parameters adapted to conditions of a planet as a whole — so that to minimize a number of false alarms. In the northern boreal forests with tall vegetation and dense forest canopy method sensitivity sharply decreases, leading to numerous droppings of rather large fires in a wood zone. Work is devoted to optimizing parameters of the contextual algorithm to increase the detection reliability (number of confirmed fires to total number of detected thermal anomalies). Under existing conditions, the number of confirmed fires have tripled, with an overall accuracy of detection remained at the level of "standard" parameters. The basic gain of the confirmed fires has fallen to fires of a technogenic origin. This result is gained for threshold values of brightness temperature in the 21st channel of MODIS (range 4 μm) 295K/290K (day/night) while standard algorithm uses the values 310K/305K.

Key words: forest fires, detection, contextual algorithm, MODIS, ERS, Earth remote sensing.

Введение

Эффективность детектирования природных пожаров с использованием спутниковых данных (данных дистанционного зондирования Земли, ДЗЗ) означает обнаружение пожаров на ранней стадии и оперативное информирование наземных служб. При этом требуется одновременно обеспечить достаточное разрешение: временное (съемка с частотой несколько раз в сутки), пространственное (различимость участков возгорания протяженностью в десятки и сотни метров) и спектральное (наличие спектральных каналов, обеспечивающих обнаружение тепловых аномалий, или термоточек). Первое требование характерно для

метеорологических спутников, второе и третье – для ресурсных. В настоящее время, до полного освоения возможностей спутника Suomi NPP, наилучшим доступным прибором для детектирования пожаров остается MODIS (спутники TERRA, AQUA, запущенные в рамках программы EOS, NASA [7]), а наиболее разработанным алгоритмом – MOD14 [9]. При съемке в надир пространственное разрешение тепловых каналов составляет 1 км на пиксел, подтвержденная минимальная площадь обнаружения пожара – 0,1 га. Это соответствует неким идеальным условиям (день, отсутствие облачности, открытая безлесная поверхность) и параметрам алгоритма, подобранным так, чтобы свести количество ложных сигналов к минимуму [8].

В реальности на территориях с высокой лесной растительностью чувствительность указанных выше средств позволяет обеспечить детектирование только сравнительно крупных и/или открытых пожаров естественного и техногенного происхождения; часто это возможно только на поздних стадиях пожара или уже после его тушения. Представленные в [5] результаты мониторинга Пермского края в пожароопасный сезон 2011 года в целом совпали со статистикой по другим регионам России с аналогичными природными условиями [1]. Целью настоящей работы является оптимизация параметров применяемого алгоритма обработки спутниковых данных с целью учесть специфику территории с преобладанием густых высоких лесов преимущественно хвойных пород.

Стандартные параметры, общие условия исследования

Алгоритм MOD14 (Active Fires Detection) использует данные тепловых спектральных каналов сенсора MODIS и является основой множества систем детектирования пожаров (например, FIRMS – Fire Information for Resource Management System). Детали алгоритма наиболее полно представлены в диссертации [8]. Выполненный в работе [2] анализ показал, что основным фактором, влияющим на пропуск пожаров малой интенсивности, является нижний порог яркостной температуры в спектральном диапазоне 4 мкм. Пикселы, лежащие ниже этого порога, заведомо квалифицируются как «пожар не обнаружен»; последующий поиск «горячих» пикселов с помощью контекстуального алгоритма проводится только для более высоких температур. Установление именно такого порога (310 К днем и 305 К ночью – назовем это «стандартные параметры» алгоритма) обусловлено стремлением отсеять ложные точки при наблюдениях в масштабе планеты [8].

Оценка эффективности детектирования проводилась в следующих условиях.

1. Получение первичных данных сенсора MODIS с приемной станции Унискан-24 в г. Пермь (Пермский государственный национальный исследовательский университет).
2. Обработка с помощью алгоритма MOD14 со стандартными (далее стандартные параметры) или измененными параметрами (модифицированные параметры). Расчет

тепловых аномалий (далее термоточек) реализован на открытом пакете программ IMAPP [6].

3. Обработаны все снимки со спутников TERRA, AQUA по территории Пермского края, полученные в период с 18 апреля по 25 сентября 2011 года. В течение этого же периода велась регистрация природных лесных пожаров на основе данных наземных и авиационных служб контроля пожарной опасности¹.

4. Выявленные в расчете термоточки сопоставлены с официальными данными (по местоположению и датам обнаружения)² и классифицированы по категориям: «ложный неподтвержденный пожар» (false), «близлежащий неподтвержденный по времени пожар»³ (nearby), «природный пожар» (natural) и «техногенный пожар» (techno). Отнесение к последней категории производилось по близости термоточки к местам обнаружения пожаров, подтвержденных данными ИСДМ «Рослесхоз» как техногенные.

Следует иметь в виду, что границы между парами категорий false – techno и nearby – natural весьма условны и зависят от понимания природы официальных данных. Так, вблизи ряда населенных пунктов наблюдаются характерные скопления термоточек, которые с очевидностью тяготеют к промышленным объектам и должны быть отнесены к пожарам техногенного происхождения, несмотря на то что в официальные данные эти точки не включаются. То же самое имеет место на безлесных участках в периоды времени, когда детектированные термоточки следует квалифицировать как «сельхозпалы».

Модифицированные параметры, сопоставление данных

Для повышения чувствительности алгоритма MOD14 нижний порог температуры в диапазоне 4 мкм понижен до 280 К днем и 275 К ночью. Диапазон действия контекстуального алгоритма расширяется, что в свою очередь приводит к росту общего числа детектированных термоточек.

В табл. 1 представлена общая сводка по категориям и общему количеству тепловых аномалий, включающая число термоточек при модифицированных (пороговые значения 280/275 К) и стандартных (310/305 К) параметрах алгоритма. Показано относительное увеличение количества термоточек при использовании модифицированных параметров.

¹ Сводка зарегистрированных лесных пожаров доступна на сайте Министерства лесного хозяйства Пермского края [4]. Источники информации: наземные службы, Западно-Уральская база авиационной охраны лесов «Авиалесохрана», ИСДМ «Рослесхоз» [3].

² Пространственное удаление – не более 1,6 км, временное для природных пожаров – не далее 2 суток от начала или конца возгорания согласно официальным данным.

³ При подходе, принятом в работе [2], данная категория была бы отнесена к подтвержденным пожарам, где в качестве факта подтверждения использована близость к территории лесной гари, безотносительно к времени.

Таблица 1 – Общая сводка по категориям тепловых аномалий

Источник данных	false	nearby	natural	techno	Всего
Тепловые аномалии, модифицированные параметры	815	15	53	312	1180
Тепловые аномалии, стандартные параметры	99	0	28	69	196
Относительное увеличение к данным при стандартных параметрах	8,23	–	1,89	4,52	6,02

Количество подтвержденных природных пожаров выросло почти вдвое, техногенных – более чем вчетверо; при этом имеет место преимущественный рост числа неподтвержденных термоточек. В табл. 2 сопоставлены результаты детектирования по времени суток, здесь категория «подтвержденные» объединяет natural и techno. Наибольшая часть прироста приходится на ночные данные. Общая доля подтвержденных тепловых аномалий составляет 30,9% для модифицированных и 49,5% для стандартных параметров.

Таблица 2 – Сводка количества тепловых аномалий по времени суток

Источник данных	Все термоточки			Только подтвержденные		
	день	ночь	всего	день	ночь	всего
Модифицированные параметры	878	302	1180	165	200	365
Стандартные параметры	171	25	196	74	23	97
Относительное увеличение к данным при стандартных параметрах	5,13	12,08	6,02	2,23	8,70	3,76

При ограничении выборки только лесной зоной (76% территории) доли подтвержденных термоточек несколько повышаются, составляя соответственно 32,3% и 54,1%.

Оптимизация параметров контекстуального алгоритма

Понижение нижнего порога яркостной температуры в диапазоне 4 мкм (далее T21, т.к. данный диапазон соответствует 21-му каналу сенсора MODIS) повышает чувствительность метода; обратной стороной является преимущественное возрастание количества неподтвержденных термоточек. Очевидно, что пороговые значения 280/275 К выбраны «наугад» и не являются оптимальными. Цель исследования состоит в получении наилучших пороговых значений T21_{low}. В качестве целевой функции выбрана достоверность детектирования, определяемая как отношение числа подтвержденных термоточек к общему. Анализ данных выполнен средствами статистического пакета R [10].

На рис. 1 показаны зависимости частот распределения термоточек для дневных и ночных наблюдений по значениям яркостной температуры T21. Общий вид гистограмм соответствует данным [5] по территории РФ в целом. На рис. 2 представлены зависимости частот распределения термоточек по значениям T21 без разделения по времени суток. Максимум первой гистограммы (все детектированные термоточки) приходится на интервал 285–295 К, второй (подтвержденные термоточки) – на интервал 290–310 К. Все расчетные данные («вне буферной зоны») соответствуют территории, в пределах которой собирались официальные данные. Числовые надписи вида X(Y) на всех диаграммах указывают значения, полученные для модифицированных (стандартных) параметров алгоритма.

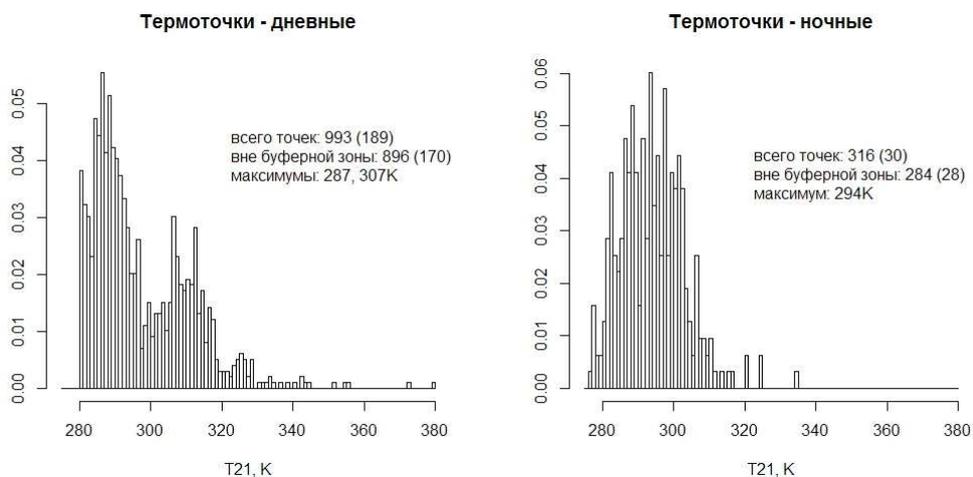


Рис. 1. Распределение всех дневных и ночных термоточек по значениям T21.

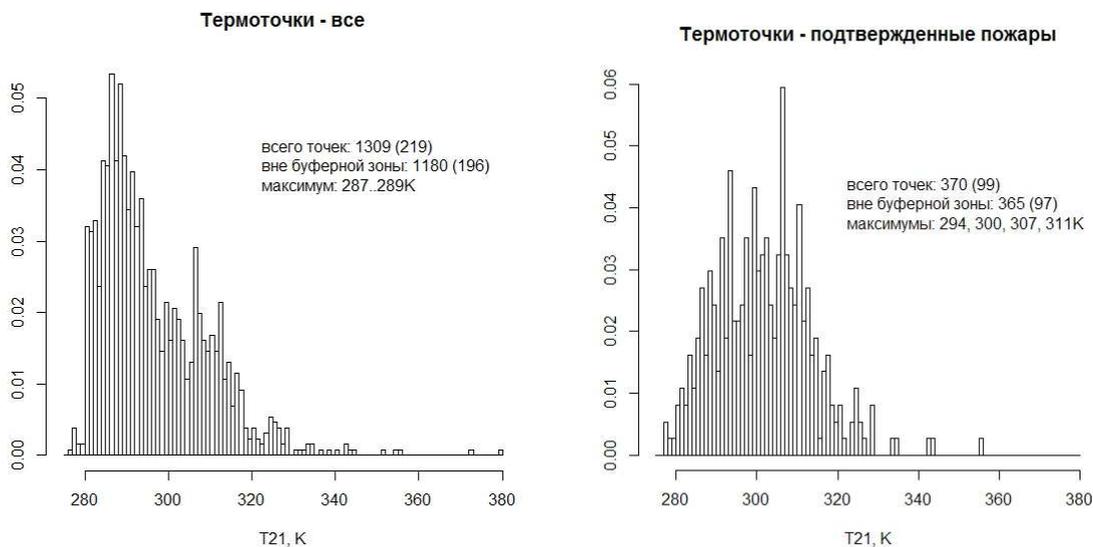


Рис. 2. Распределение частот всех подтвержденных термоточек по значениям T21.

Достоверность детектирования как функция нижнего порога $T21_{low}$ (рис. 3-5, обозначается $Fr=Fr(T21)$) рассчитана на массиве точек с шагом 0,25 К по аргументу $T21_{low}$. Для каждого дискретного значения $T21_{low}$ в указанных выше интервалах определяется

достоверность детектирования $Fr=Fr(T21_{low})$ и общее число термоточек (объем выборки).

На рис. 3 и 4 показаны зависимости $Fr=Fr(T21)$ для различных категорий. В качестве характерных точек выделены значения, соответствующие медианам выборок Fr . Количество термоточек в целом и на уровне медианы отражено на рис. 3-5 в виде дробей: числитель соответствует числу подтвержденных термоточек, знаменатель – общему числу термоточек.

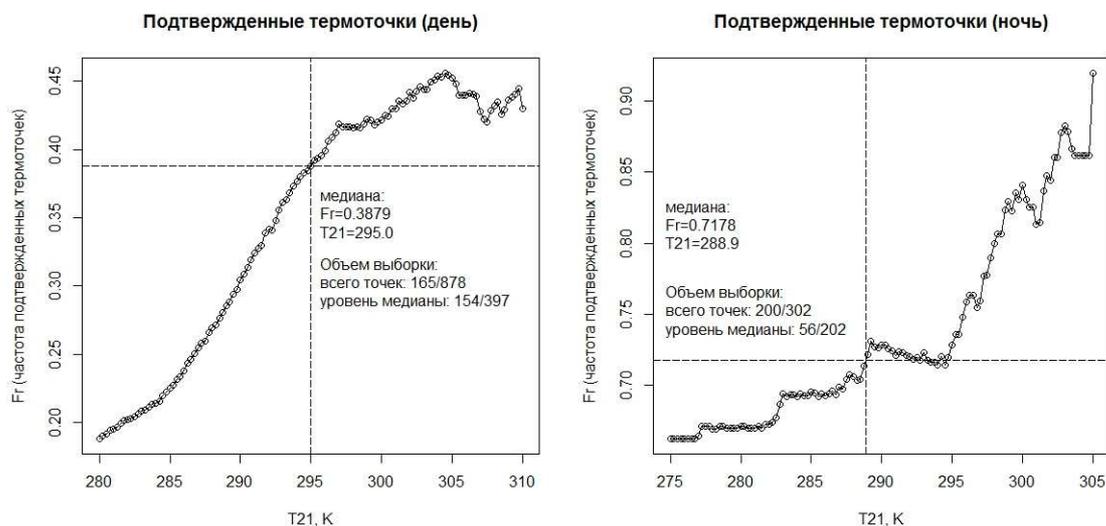


Рис. 3. Зависимость частоты подтвержденных тепловых аномалий от значения нижнего порога $T21_{low}$ для дневных и ночных наблюдений

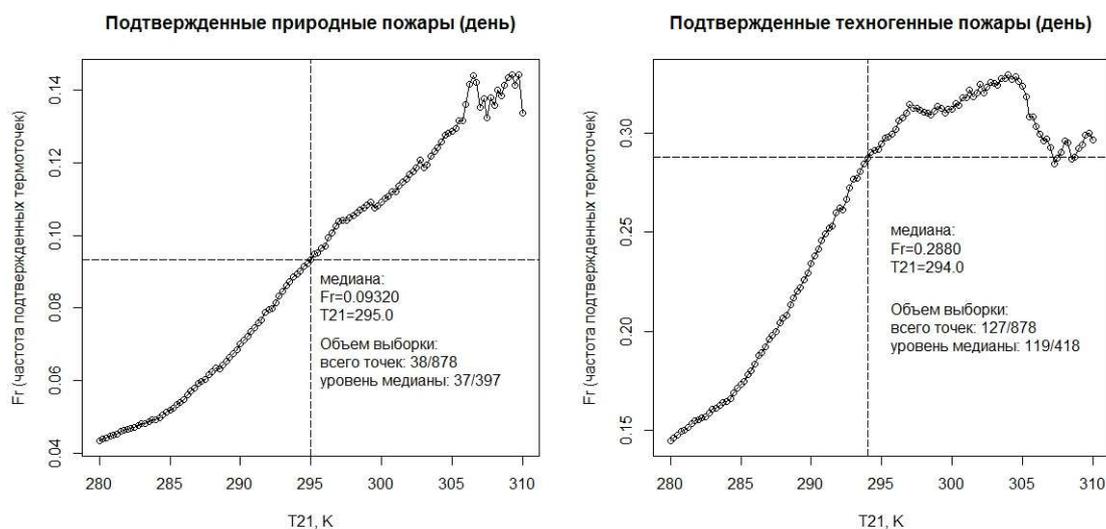


Рис. 4. Зависимость частоты подтвержденных тепловых аномалий от значения нижнего порога $T21_{low}$ для дневных природных и техногенных пожаров.

В качестве «пробных» порогов $T21_{low}$ рассмотрено три варианта: 1) исходные значения (280K/275 K); 2) медианы выборок $T21$ (292,9K/293,7 K по дневным и ночным термоточкам); 3) значения $T21$, соответствующие медианам выборок Fr (295 K/288,9 K по дневным и ночным термоточкам). Итоговые результаты сведены в табл. 3. Наилучший результат дает последний вариант: при сохранении достоверности (49,7% против 49,5% для стандартных параметров алгоритма) количество подтвержденных термоточек возрастает втрое.

На рис. 5 показаны зависимости «приведенных» частот, объясняющие полученный результат. Здесь объединены данные дневных и ночных термоточек (ночные точки сдвинуты по температуре T21 на –5 К, в соответствии с разницей дневного и ночного порогов), при этом за счет максимума один и тот же уровень достоверности достигается при двух разных пороговых значениях. Максимум возникает за счет вклада техногенных пожаров (правая диаграмма), зависимость «приведенной» частоты природных пожаров растет монотонно.

Таблица 3 – Оценка достоверности детектирования при разных пороговых значениях T21

Источник данных	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
	Всего точек	Подтверждено	Всего точек	Подтверждено	Всего точек	Подтверждено
Модифицированные параметры	1180	365	588	264	585	291
Стандартные параметры	196	97	196	97	196	97
Относительный прирост	6,02	3,76	3,00	2,72	2,98	3,00

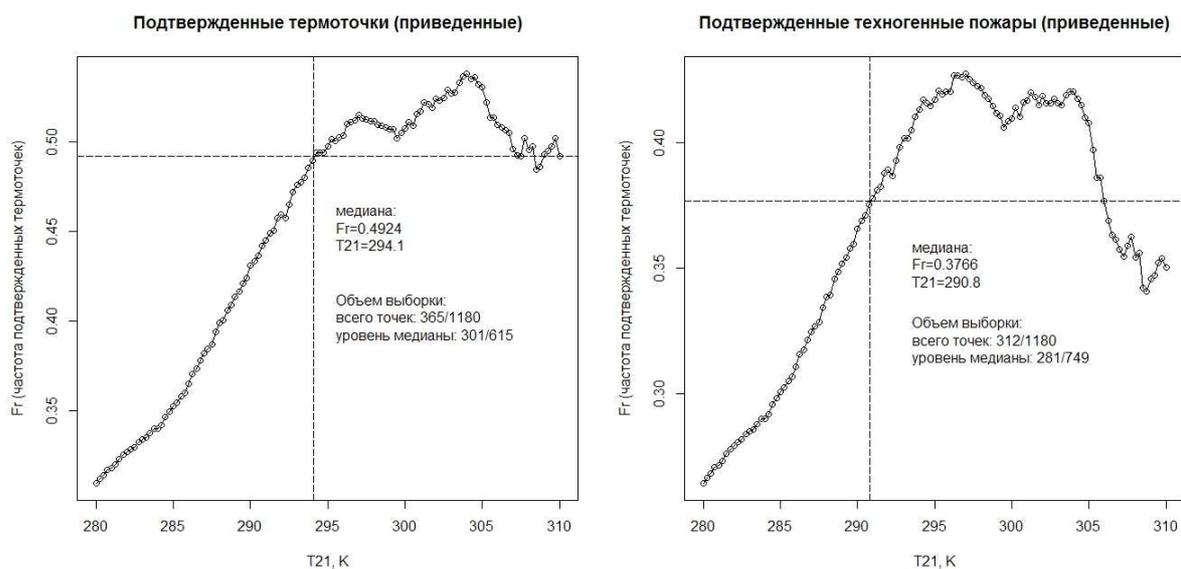


Рис. 5. Зависимость «приведенной» частоты подтвержденных тепловых аномалий от значения нижнего порога T21_{low} по всем и только по техногенным пожарам.

Сохранение общего уровня достоверности при переходе к модифицированному (вариант 3) алгоритму сопровождается перераспределением долей природных и техногенных пожаров: для стандартного алгоритма это 14,3% (природные пожары) и 35,2% (техногенные пожары), для модифицированного соответственно 8,0% и 41,7%.

Выводы

1. Снижение нижних порогов параметров контекстуального алгоритма до значений 280 К/275 К (день/ночь) по сравнению со стандартными значениями 310 К/305 К увеличивает

общее число подтвержденных термоточек в 3,76 раза при общем увеличении числа термоточек в 6,02 раза, т.е. к преимущественному увеличению количества неподтвержденных термоточек.

2. В качестве наилучших нижних пороговых значений предлагаются 295 К для дневных и 290 К для ночных наблюдений (минус 15 градусов от стандартных параметров). Данные значения приблизительно соответствуют медианам выборок, построенных на достоверности детектирования, рассчитанной для дневных и ночных наблюдений. Общая достоверность детектирования при этом составляет 49,7% (при стандартных параметрах алгоритма — 49,5%), при этом общее число подтвержденных термоточек больше в 3 раза. В основном это объясняется за счет увеличения количества термоточек техногенного происхождения.

Список литературы

1. Афонин С.В., Белов Н.В., Энгель М.В.. Анализ региональных спутниковых данных MODIS PRODUCTS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2005. – Т. 2. – № 2. – С. 336–342.
2. Галеев А.А. [и др.] Построение адаптивного алгоритма детектирования пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т. 5. – № 1. – С. 58–68.
3. Информационная система дистанционного мониторинга (ИСДМ) Федерального агентства лесного хозяйства. – URL: <http://www.pushkino.aviales.ru/> (дата обращения: 25.11.2012).
4. Министерство лесного хозяйства Пермского края. – URL: <http://les.permkrai.ru/> (дата обращения: 25.11.2012).
5. Пономарчук А.И., Шихов А.Н. Детектирование лесных пожаров в Пермском крае с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края : сб. науч. тр. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2011. – Вып. 4. – С. 15-24.
6. Direct Readout Laboratory. URL: <http://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov/> (дата обращения: 25.11.2012). ; IMAPP: International MODIS/AIRS Processing Package, version 1.1. – URL: <http://cimss.ssec.wisc.edu/imapp/> (дата обращения: 25.11.2012).
7. Earth Observing System Project Science Office, EOS Program Description. – URL: http://eospsoc.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/description.php (дата обращения: 25.11.2012).
8. Giglio L. Detection, evaluation, and analysis of global fire activity using MODIS data: Dissertation on degree Doctor of Philosophy, University of Maryland, 2006. UMI Number: 3212607, 247 pp.

9. MOD 14 – Thermal Anomalies – Fires and Biomass Burning [Электронный ресурс] : Описание информационного продукта MOD14 (алгоритм детектирования пожаров по данным MODIS и формат представления результатов). – URL: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/dataproducts.php?MOD_NUMBER=14 (дата обращения: 25.11.2012).
10. Kerns G. Jay. Introduction to Probability and Statistics Using R. 2010. – URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/IPSUR/vignettes/IPSUR.pdf> (дата обращения: 25.11.2012).

Рецензенты:

Калинин Николай Александрович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Полосков Игорь Егорович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.