

УДК 621.396

ОБУЧАЕМЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРОВ ПО ДАНЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С. М. Зраенко, М. А. Мырина, В. В. Ганжа

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина

Статья получена 10 ноября 2014 г.

Аннотация. Показана недостаточная работоспособность штатного алгоритма выделения температурных аномалий MOD14 и его модификаций для обнаружения лесных пожаров. Разработан обучаемый пороговый алгоритм для анализа пожарной обстановки по данным дистанционного зондирования, основанный на использовании подспутниковой информации. Продемонстрирована эффективность предложенного алгоритма по ночным и дневным снимкам спектрорадиометра MODIS.

Ключевые слова: лесные пожары, лесопожарные интернет-сервисы, спектрорадиометр MODIS, алгоритм MOD14, обучаемый пороговый алгоритм.

Abstract. An efficiency lack of regular algorithm MOD14 of temperature anomalies detection and its modifications for the detection of forest fires are shown. The training threshold algorithm for the analysis of the fire situation on the base of remote sensing data obtained from a sub-satellite is developed. The effectiveness of the proposed algorithm by night and day snapshots of spectroradiometer MODIS is demonstrated.

Key words: forest fires, forest fire internet services, MODIS spectroradiometer, MOD14 algorithm, trained threshold algorithm.

1. Введение

В настоящее время данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) широко используются для решения задач прогнозирования и мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. К задачам

такого класса относятся и рассматриваемые в статье задачи обнаружения и мониторинга лесных пожаров, несвоевременная локализация которых приводит к серьёзным нарушениям экосистем и существенным экономическим потерям. Так, например, по информации Департамента лесного хозяйства Свердловской области в 2011 году на контролируемой им территории зарегистрировано 1299 очагов лесных пожаров на площади 30237,6 га и это ещё не самый плохой показатель, поскольку это в 2,3 раза меньше средних пятилетних потерь, связанных с пожарами [1]. Актуальность проблемы мониторинга лесопожарной обстановки подтверждается широким использованием космических средств контроля наряду с наземными и авиационными службами наблюдения. Для этого в настоящее время в основном используются данные спектрорадиометра MODIS [2] (разрешение 1 км) установленного на американских спутниках Terra (запущен в 1999 г.) и Aqua (запущен в 2002 г.).

Данные MODIS являются бесплатными и могут быть найдены в глобальной сети интернет, а их оперативное получение осуществляется с помощью персональных станций приема данных ДЗЗ. Одна из таких станций УниСкан-24 [3] (разработка ИТЦ «СканЭкс») была установлена в Уральском федеральном университете в 2011 году. Многие системы лесопожарного мониторинга используют также данные американского спутника Suomi NPP (запущен в октябре 2011 г.) с сенсором VIIRS характеристики которого близки к MODIS. Указанные системы характеризуются широкой полосой обзора, большим количеством спектральных каналов и высокой периодичностью съемки (до нескольких раз в день) одного и того же участка поверхности, однако обладают низким пространственным разрешением. Последнее обстоятельство не позволяет уверенно обнаруживать пожары площадью в доли гектара при сложных условиях наблюдения (низовой пожар, недостаточная интенсивность горения, плохие метеоусловия и состояние атмосферы).

2. Постановка задачи

О сложности решения задачи обнаружения лесного пожара по данным ДЗЗ

можно судить по наличию большого количества отечественных и зарубежных интернет-сервисов, содержащих информацию о возгораниях при условии, что приведенные на них данные о лесопожарной обстановке отличаются не только от фактической, но и между собой. Доказательством этому служит проведенное нами исследование, посвященное анализу точности предоставляемой ими информации об известном по данным из сети интернет пожаре в государственном природном заповеднике (ГПЗ) «Денежкин камень» летом 2010 года (рис. 1).



Рис. 1. Дневной снимок MODIS 31.07.2010 совмещенный с маской пожаров и границей ГПЗ «Денежкин камень».

Одним из использованных известных источников оперативных данных о природных пожарах является система FIRMS (Fire Information for Resource Management System), разработанная специалистами из США. Результаты, полученные от нее, также как и от отечественной системы, разработанной в ИТЦ «СканЭкс», были получены с сайта «Космоснимки 01» [4], данные еще от одной отечественной информационной системы получены с Геопортала Министерства Природных ресурсов и экологии Российской Федерации [5].

Информация с указанных сервисов базируется на данных спектрорадиометра MODIS, обработанных с использованием алгоритма обнаружения пожаров MOD14 и его модификаций [6].

В этом алгоритме используются данные с пространственным разрешением 1000 м – значения температур пикселей в двух инфракрасных спектральных каналах — 4 мкм (21 канал) и 11 мкм (31 канал). При этом радиояркостьная температура «горячего» пикселя в канале 4 мкм должна быть выше 312К днем и 305К ночью. В дополнение к этому, чем выше для пикселя разность температур в 21 и 31 каналах, а также больше отличие его радиояркостьной температуры в 21 канале от окружения, тем выше вероятность того, что он относится к области пожара. Предварительно изображение оценивается на наличие облачности с помощью масок облачности и глобальной облачности, а также отсеиваются пиксели, относящиеся к солнечным бликам. В результате формируется маска пожаров, содержащая так называемые «термоточки» – пиксели, превышающие заданные температурные пороги.

Следует отметить, что указанный алгоритм в настоящее время является штатным и для ряда специализированных программных средств по обработке данных ДЗЗ, таких например, как программный комплекс (ПК) ScanEx Image Processor [7]. В реальности же на территориях с высокой лесной растительностью его эффективность недостаточна, что позволяет обнаруживать с его помощью только сравнительно крупные (особенно верховые) пожары. Данное обстоятельство в значительной степени обусловлено фиксированными значениям температурных порогов, которые не учитывают конкретные условия наблюдения.

Для подтверждения этого в таблице 1 приведена информация с упомянутых сервисов по обнаружению очагов пожара в ГПЗ «Денежкин камень», фактических данных и маски пожаров, построенной по алгоритму MOD14 с использованием фиксированных порогов в ПК ScanEx Image Processor по дневным и ночным снимкам MODIS. Представленные результаты с нашей

точки зрения являются неудовлетворительными поскольку «пожарные точки» по данным двух и более сервисов обнаружены только 16, 26, 29 и 31 июля, а 15, 18, 21-25 июля – не обнаружены ни одним из них.

Таблица 1.

Данные о пожаре	Геопортал «Космоснимки 01»	Геопортал Минприроды РФ	Геопортал FIRMS	Обработка алгоритмом MOD14 в ScanEx Image Processor
15 июля начало пожара	–	–	–	–
16-24 июля продолжение пожара	16 июля 2 очага	–	16,17 июля 1,2 очагов	–
	–	–	–	19,20 июля 1,1 очаг
25-26 июля верховые пожары	–	–	26 июля 4 очага	26 июля 2 очага
27-31 июля продолжение пожара	29 июля 2 очага	–	27-30 июля 2,7,7,1 очагов	–
	31 июля 1 очаг	31 июля 1 очаг	31 июля 7 очагов	31 июля 3 очага

3. Разработка обучаемого порогового алгоритма

Для повышения вероятности правильного обнаружения температурных аномалий нами предложено на основании известной подспутниковой информации о существующем на контролируемой территории пожаре осуществлять обучение порогового алгоритма. Подбор порога обнаружения очагов пожара по спектральным каналам 4 мкм и 11 мкм космических снимков с разрешением 1 км спектрорадиометра MODIS 28 июля (ночной) – 29 июля (дневной) 2010 года при этом производилось по известному нам пожару в ГПЗ «Денежкин Камень». С этой целью был вырезан соответствующий фрагмент изображения территории Свердловской области и после преобразования в диапазон яркостей от 0 до 255 по нему были определены пороги обнаружения

из условия выделения указанного пожара. При этом предполагается (рис. 2), что вокруг очага пожара (тёмный овал) существует свободная от огня область – *смежная область* размером в 1 пиксель (серый квадрат), отделенная от пожара расстоянием 0,5 – 1,5 пикселя – *граничная область*, часть которой может быть занята пожаром (светлая область). Для нашего случая, когда очаг пожара находится в пикселе с координатами ($X=217, Y=193$), это означает, что в точках $X=215-219$ при $Y=191$ и $Y=195$ и в точках $Y=191-195$ при $X=215$ и $X=219$ (рис. 2) отсутствуют «горячие» пиксели.

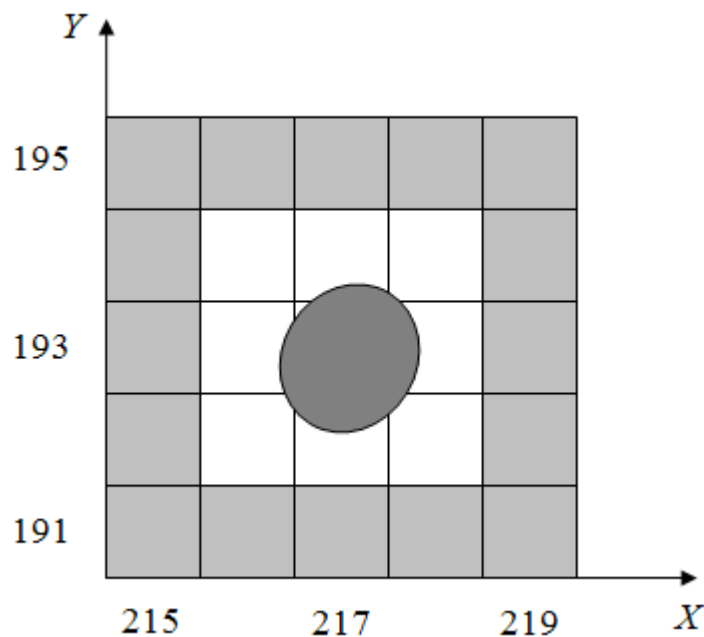


Рис. 2. К вопросу об определении смежной области для очага пожара.

Значение порога в каждом из каналов определяется из условия его превышения пикселями из области очага пожара и не превышения пикселями из смежной области.

4. Исследование обучаемого алгоритма

Исследование предложенного алгоритма проведено по снимкам MODIS территории Свердловской области 28-29 июля 2010 года и 01.08.2012 года. Для ночного снимка пороги обнаружения (в относительных значениях яркости) были получены следующие: 58-69 в 21 канале MODIS и 136-166 в 31 канале. При установке средних значений – 63 и 151 соответственно была построена

маска выделенных пожаров по условию превышения найденных порогов в обоих каналах (рис. 3). На приведенном рисунке видны пожары (черные точки) в заповеднике «Денежкин Камень», а также в Гаринском и Сосьвинском городских округах (ГО).

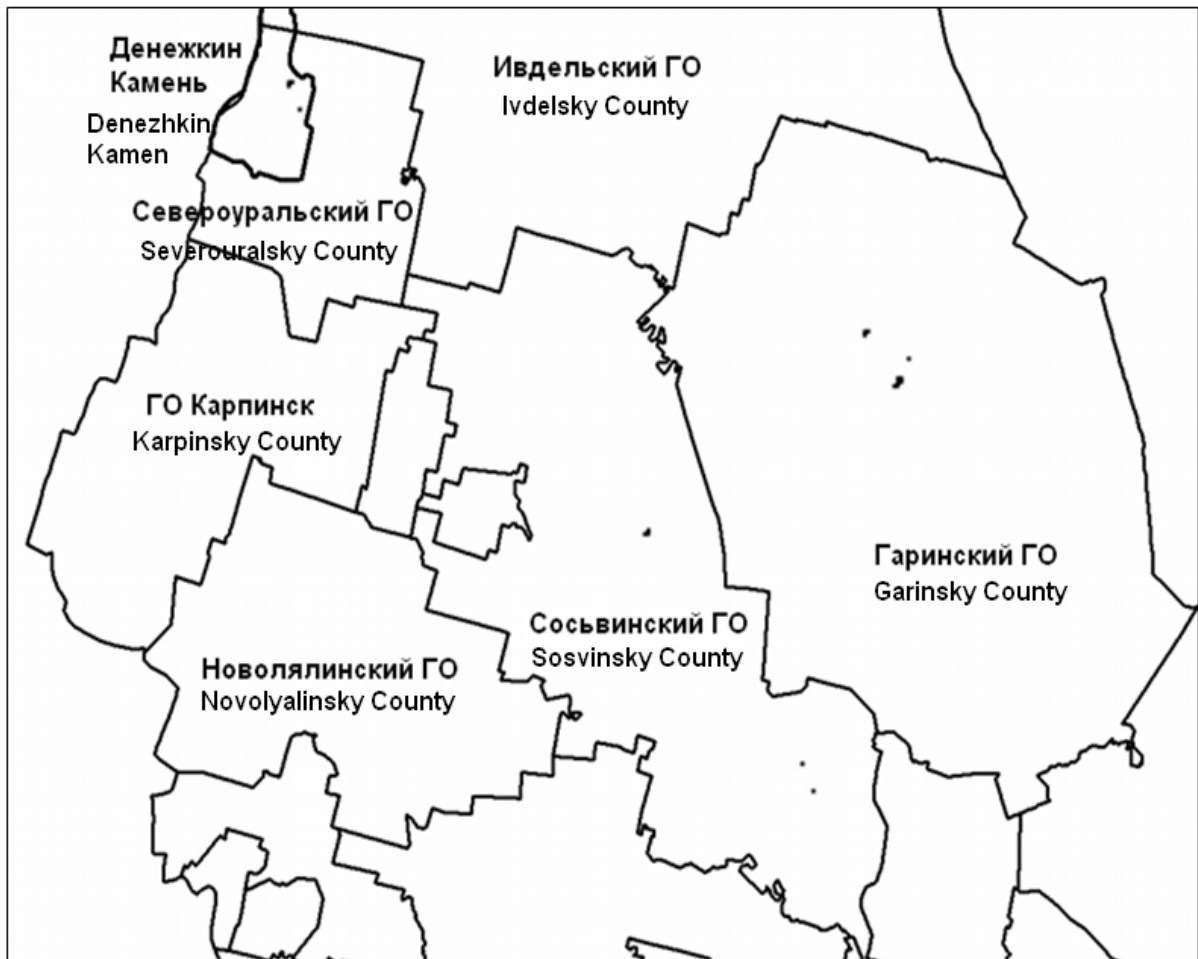


Рис. 3. Маска пожаров по обучаемому алгоритму для ночного снимка 28.07.2010, черные точки – выделенные «горячие» пиксели.

Фактическая пожарная обстановка определялась нами на основании размещенной в сети Интернет сводки МЧС на 28-29 июля 2010 года. В таблице 2 представлена информация об известных пожарах и результаты, обнаружения термальных аномалий полученные по ночному снимку MODIS предложенным алгоритмом, а также алгоритмом MOD14 со стандартным (установленным в ПК ScanEx Image Processor по умолчанию) значением порога $T_{4NIGHT}=330K$ и

подобранном (из условия обнаружения максимального количества существующих пожаров) значением $T_{4\text{NIGHT}}=300\text{K}$. Несмотря на то, что подобранное значение порога $T_{4\text{NIGHT}}=300\text{K}=27^{\circ}\text{C}$ оказалось ниже значения ($T_{4\text{NIGHT}}=305\text{K}$), которое считается граничным для признания пикселя термоточкой, это выглядит достаточно реалистично, если иметь в виду летнюю ночную температуру крон деревьев в северной части Свердловской области. Отметим, что предложенный алгоритм продемонстрировал несколько лучшие результаты по обнаружению пожаров по сравнению с традиционным MOD14. Тем не менее, в обоих случаях были пропущены пожары в Североуральском и Ивдельском ГО, а вот что касается пожара в ГПЗ «Денежкин Камень», то удалось уточнить, что он состоит из двух очагов.

Таблица 2. Обнаружение пожаров по ночному снимку 28.07.2010, в скобках – количество «горячих» пикселей в каждом из них

Округ	Количество пожаров	Обучаемый алгоритм	MOD14 (стандартный порог)	MOD14 (подобранный порог)
ГПЗ «Денежкин Камень»	1	2 (3; 1)	нет	3 (4; 3; 1)
Североуральский	11	нет	нет	2 (1; 1)
Сосьвинский	15	3 (3; 1; 1)	2 (1; 1)	6 (2; 3; 4; 2; 2; 12)
Ивдельский	9	нет	нет	1 (1)
Гаринский	10	3 (6; 3; 1)	3 (2; 1; 1)	10 (1; 1; 1; 2; 1; 1; 2; 3; 2; 7)

При использовании предложенной методики по дневному снимку потребовалось воспользоваться в качестве обучающего эталона пожаром в Гаринском ГО, поскольку низовой пожар в ГПЗ «Денежкин Камень» не удалось обнаружить вследствие его маскировки кронами деревьев. Результат выделения «горячих» пикселей по найденным для данного случая средним значениям порогов – 41 для 21 канала и 169 для 31 канала приведен на рис. 4. Здесь

обнаружены пожары в Сосьвинском, Гаринском, Краснотурьинском, Серовском, Качканарском и Карпинском ГО.

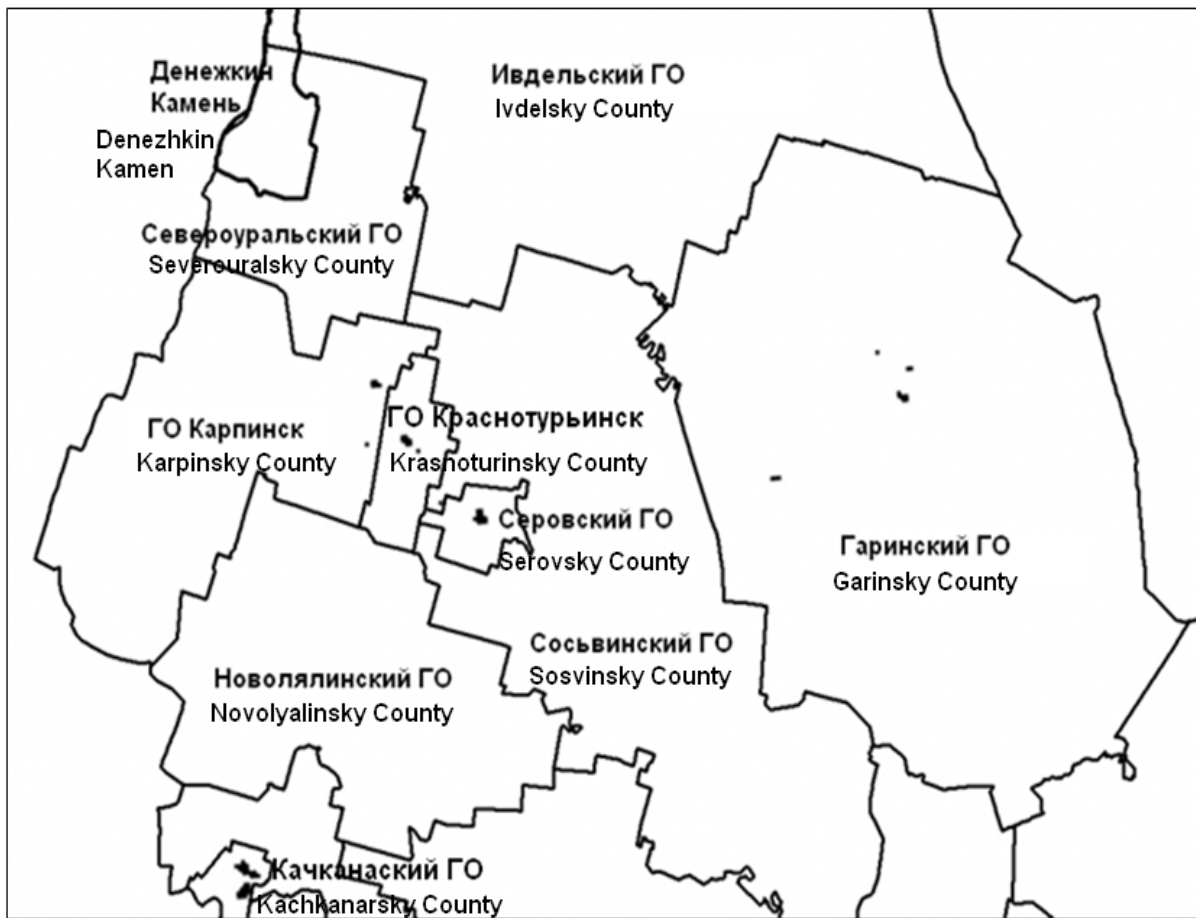


Рис. 4. Маска пожаров по обучаемому алгоритму для дневного снимка 29.07.2010, черные точки – выделенные «горячие» пиксели.

Полученные результаты также сравнивались с данными о фактических пожарах, приведенными в сводке МЧС. При этом стандартное (установлено в ПК ScanEx Image Processor по умолчанию) значение порога $T_{4_{DAY}}=360K$, а подобранное (из условия обнаружения максимального количества существующих пожаров) – $T_{4_{DAY}}=320K$. В результате анализа (таблица 3) установлено, что обнаружены ложные «горячие» пиксели в Качканарском ГО, а пропущены пожары в заповеднике «Денежкин Камень», Североуральском и Ивдельском ГО. Как следует из приведенных данных, обучаемый алгоритм

показал здесь существенно лучшие результаты по сравнению с MOD14 (при стандартных значениях порога) и сравнимые с теми, что получены при подборе порога для выделения известных пожаров. В целом же результаты оказались несколько хуже, чем по ночному снимку, что связано с влиянием температуры поверхности и возможными зеркальными отражениями от водных поверхностей и краев облаков.

Таблица 3. Обнаружение пожаров по дневному снимку 29.07.2010, в скобках – количество «горячих» пикселей в каждом из них

Округ	Количество пожаров	Обучаемый алгоритм	MOD14, стандартный порог	MOD14, подобранный порог
ГПЗ «Денежкин Камень»	1	нет	нет	нет
Североуральский	12	нет	нет	нет
Сосьвинский	15	1 (1)	нет	2 (1; 1)
Ивдельский	9	нет	нет	2 (1; 1)
Гаринский	11	4 (5; 2; 1;1)	1 (1)	6 (1; 2; 2; 2; 3; 5)
Карпинский	7	2 (3; 1)	нет	1 (1)
Краснотурьинский	3	2 (8; 1)	нет	нет
Серовский	1	1 (11)	нет	2 (1; 1)
Качканарский	1	2 (15; 12)	1 (1)	1 (12)

Для дополнительной проверки обучаемого алгоритма проведено также его исследование по дневному снимку MODIS территории Свердловской области 01.08.2012 года. При этом в качестве «обучающего» выбран пожар в Красноуральском городском округе (рис.5).

Сравнение полученных при этом результатов для обучаемого алгоритма с фактическим количеством пожаров, а также с алгоритмом MOD14 при стандартном и подобранном значениях порога (использован порог,

подобранный для ситуации 2010 года) приведено в таблице 4.



Рис. 5. Маска пожаров по обучаемому алгоритму для дневного снимка 01.08.2012, черные точки – выделенные «горячие» пиксели.

Таблица 4. Обнаружение пожаров по дневному снимку 01.08.2012

Округ	Количество пожаров	Обучаемый алгоритм	MOD14, стандартный порог	MOD14, подобранный ранее порог
Красноуральский	1	1	нет	1
Качканарский	нет	1	нет	2
Сосьвинский	нет	нет	нет	1
Ивдельский	нет	нет	нет	7
Североуральский	нет	нет	нет	1
Краснотурьинский	нет	нет	нет	1
Карпинский	нет	нет	нет	2

Полученный результат демонстрирует эффективность предложенного алгоритма (выделен только один ложный пожар) по сравнению с MOD14 (при стандартном значении порога «обучающий» пожар пропущен, при подобранном для другой пожарной ситуации пороге – обнаружено много ложных пожаров).

Дальнейшее повышение вероятности правильного обнаружения лесных пожаров с нашей точки зрения возможно комплексированием результатов, получаемых при использовании предложенного алгоритма по ночным и дневным снимкам, а также объединением их с результатами алгоритма MOD14.

5. Выводы

На основании анализа подспутниковых данных и информации от нескольких лесопожарных сервисов показана недостаточная работоспособность штатного алгоритма выделения температурных аномалий MOD14 и его модификаций для обнаружения лесных пожаров.

Предложен обучаемый пороговый алгоритм, использующий подспутниковую информацию об одном из пожаров для построения эффективной процедуры анализа пожарной обстановки по снимку MODIS.

Исследование разработанного алгоритма обнаружения лесных пожаров выполнено с использованием данных инфракрасных спектральных каналов 4 мкм и 11 мкм спектрорадиометра MODIS по одному ночному и двум дневным снимкам. Получено хорошее совпадение результатов обнаружения пожаров с подспутниковыми данными.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (Проекты № 13-07-12168 и № 13-07-00785).

Литература

1. О мерах по обеспечению пожарной безопасности в лесах Свердловской области на 2012 год: Департамент лесного хозяйства Свердловской области.

- Приказ № 64 от 20.01.2012 г. // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zakonprost.ru/content/regional/60/1713768>.
2. MODIS specifications. NASA // [Электронный ресурс]. URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>.
3. УниСкан™ Станция для приема данных ДЗЗ в X-диапазоне. ИТЦ «СканЭкс» // [Электронный ресурс]. URL: http://www.scanex.ru/ru/stations/uniscan/datasheet_uniscan_rus.pdf.
4. Информационный сервис по лесным пожарам «Космоснимки 01». // [Электронный ресурс]. URL: <http://fires.kosmosnimki.ru>.
5. Геопортал Министерства Природных ресурсов и экологии Российской федерации. // [Электронный ресурс]. URL: <http://fires.rfimnr.ru/api/index.html>.
6. Algorithm Technical Background Document. MODIS Fire Products. // [Электронный ресурс]. URL: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod14.pdf.
7. SCANEX IMAGE PROCESSOR®. Дополнительная обработка изображений и получение тематических продуктов. ИТЦ «СканЭкс» // [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scanex.ru/ru/software/default.asp?submenu=imageprocessor&>.