

Детектирование лесных пожаров в Пермском крае с использованием данных дистанционного зондирования Земли

*А.И. Пономарчук, А.Н. Шихов
Пермский государственный научный исследовательский
Университет, Россия, г. Пермь
gis@psu.ru*

Введение

Для детектирования пожаров с использованием данных дистанционного зондирования Земли (далее – данные ДЗЗ) в мировой практике широко применяются данные тепловых каналов спектрорадиометра MODIS (спутники Terra, Aqua) и контекстные алгоритмы [Галеев, 2008]. Одним из известных примеров является FIRMS (Fire Information for Resource Management System) – публично доступный сервис (<http://firefly.geog.umd.edu/firms/firedata.htm>). Сервис предоставляет сводную информацию по детектированным тепловым аномалиям, оперативно обновляемую в круглосуточном режиме по мере пролета спутников, приема и обработки данных MODIS. Параметры используемых алгоритмов настроены на некоторые средние условия планеты с целью обеспечения, с одной стороны, чувствительности метода к обнаружению слабых очагов возгорания, с другой – игнорирования ложных очагов. Целью настоящей работы была оценка применимости «стандартных» настроек к задаче детектирования *лесных* пожаров в Пермском крае.

Процесс детектирования пожаров и оценки результативности состоял из следующих этапов:

1. оперативный прием данных с космических аппаратов Terra, Aqua на приемную станцию ГИС центра;
2. обработка данных с целью выявления аномальных тепловых точек;
3. сопоставление аномальных тепловых точек с топографией местности и отбрасывание пожаров техногенного происхождения;
4. получение дополнительной информации (данных съемки с более высоким разрешением) с целью уточнения параметров пожара;
5. сопоставление результатов детектирования с данными Агентства по природопользованию Пермского края (далее – АПП ПК, сайт <http://www.les.permkrai.ru>) по официально зарегистрированным пожарам.

Выявление аномальных тепловых точек проводилась по алгоритму MOD14 в реализации Virtual Appliance

(<http://cimss.ssec.wisc.edu/imapp/>, версия 1.1, май 2011). Следует отметить, что использование собственных средств приема и обработки позволило получать данные на 1,5–2,5 часа раньше обновления данных FIRMS, причем с существенно большим набором параметров, характеризующих аномальные тепловые точки.

Исследование охватывает период с 01.06 по 18.09.2011 г. В ходе выполнения работы получены дополнительные результаты, включающие оценку выгоревших площадей и корректировку официальных данных, содержащих в ряде случаев явные ошибки.

Общая оценка результативности детектирования

По итогам отчетного периода 01.06–18.09.2011 г. по данным АПП ПК на территории Пермского края зарегистрировано 122 лесных пожара (всего за сезон 2011 г. – 190, начиная с 18.04.2011). Средствами космического мониторинга детектировано 75 тепловые аномалий, 41 из которых классифицированы как аномалии техногенного происхождения (в частности, горящие факела попутного газа). С официально зарегистрированными пожарами по времени и месту совпало 10 аномальных тепловых точек, причем 7 из них относились к двум крупным пожарам 26.07.2011. В итоге можно констатировать, что из 122 зарегистрированных за период лесных пожаров средствами космического мониторинга детектировано только 5. В буферной зоне на территории республики Коми, в 3 км от границы Пермского края был детектирован крупный лесной пожар с периодом действия 24–26.07.2011. К данному пожару относятся 4 из 75 детектированных тепловых аномалий.

По оставшимся 20 аномальным тепловым точкам официальных данных нет – либо это пожары на границе Пермского края в пределах буферной 10-км зоны, либо это пожары вблизи населенных пунктов, не включенные в официальные сводки. Так, в течение одних суток 22 июня в окрестностях Красновишерска (окраина города и лесной массив к югу от города) детектировано 8 тепловых аномалий. В сводке АПП ПК лесные пожары, зарегистрированные на данной территории и в данный период, не упоминаются.

Фактическая результативность детектирования пожаров определяется особенностями территории и конкретного пожароопасного сезона. Повышенное внимание к противопожарным мероприятиям и усиление активности соответствующих служб после катастрофических пожаров летом 2010 года способствовали обнаружению большего числа пожаров на ранней стадии и, соответственно, – относительному снижению результативности космического мониторинга. Необходимо иметь в виду следующие факторы:

1. Характер облачности над северной частью территории Пермского края в течение пожароопасного сезона. Неоднократно наблюдались продолжительные периоды с

преобладанием значительной и сплошной облачности, которая препятствовала детектированию пожаров.

2. Преобладание низового характера лесных пожаров на территории Пермского края. Объясняется особенностями погодных условий лета 2011 года в сравнении с летом 2010 года (не было продолжительных периодов сухой и жаркой погоды, способствующих высыханию лесных горючих материалов). Верховые пожары в лесах Пермского края, как правило, возникают в случае продолжительной засухи и усиления ветра. В пожароопасный сезон 2011 года таких погодных условий не наблюдалось. Особенности преобладающей лесной растительности (сосновые и еловые леса, часто переувлажненные, большая площадь заболоченных земель) также способствует преобладанию низового характера лесных пожаров.
3. Сравнительно высокая плотность населения (что благоприятствует обнаружению и ликвидации пожаров в ранней стадии).
4. Существенно возросший по сравнению с прошлым годом уровень организации противопожарных мероприятий в Пермском крае (регулярное патрулирование с воздуха, наличие централизованного диспетчерского центра).

Следует также иметь в виду статистику, полученную исследователями по регионам со сходными условиями. Так, результативность космического мониторинга пожаров по Пермскому краю за летний период 2011 года вполне сопоставима с результатами, полученными в разные годы в других регионах России. Так, в 2010 г. в Мурманской области были детектированы только три из 57 зафиксированных пожаров [Рыбчак, 2010].

В Томской области в пожароопасный сезон 2003 г. при использовании аналогичных средств и алгоритмов космического мониторинга детектировано 98 из 565 зарегистрированных пожаров – в основном крупные очаги возгораний [Афонин, 2005].

В целом средства космического мониторинга показывают большую эффективность в регионах Сибири и Дальнего Востока. Частично это объясняется более низкой плотностью населения и меньшей численностью наземных служб контроля, что косвенно отражается на общепринятом критерии для оценки крупных лесных пожаров. Так, согласно [Галеев, Котельников и др., 2008], для Европейской части РФ крупным считается пожар площадью 25 га и более, в то время как для Сибири и Дальнего Востока – 200 га.

Несмотря на общую низкую эффективность *детектирования*, использованные средства и методы космического мониторинга позволили получить дополнительную информацию о лесных пожарах, а именно:

1. Уточнение координат ряда крупных пожаров (в двух случаях отклонение от официальных данных составило более 4 км).
2. Оценка площади выгоревших территорий по данным ДЗЗ среднего разрешения (LANDSAT-5-TM, SPOT-4). Полученные оценки выгоревших площадей представляют интерес, так как существенно отличаются от данных АПП ПК.

Объективные ограничения космического мониторинга пожаров

Детектирование пожаров (выявление аномальных тепловых точек) производится на основе анализа мультиспектральных данных сенсора MODIS по каналам инфракрасного (далее – ИК) диапазона, имеющим пространственное разрешение 1 км на пиксел. Облачность препятствует проникновению волн ИК диапазона спектра, поэтому закрытые облаками участки земной поверхности из анализа исключаются. Выявление аномальной точки производится на основе сопоставления ее яркостных температур (характеризующих мощность излучения) в разных спектральных диапазонах с фоновыми значениями, т.е. детектируются только пожары достаточной интенсивности. Параметры орбитального движения спутников Terra и Aqua таковы, что гарантированное покрытие всей территории Пермского края обеспечивается 4 раза в сутки. Частичное покрытие обеспечивается до 9 раз в сутки, причем в периоды 16:30–23:30 и 5:30–12:30 (с точностью плюс-минус один час) приема данных нет. В итоге получаем следующие ограничения, препятствующие детектированию:

1. при наилучших условиях (открытое пространство) детектируются пожары 0,1 га и выше;
2. закрытые облаками пожары не детектируются;
3. полог леса (в случае низовых пожаров) ограничивает возможности детектирования;
4. пожары, действующие менее 6–8 ч, как правило, не детектируются, если их активная фаза попадает в периоды вне приема данных (как правило, новые очаги возгорания обнаруживаются в конце дня, т.е. попадают на вечерний период отсутствия приема данных).

Числовая оценка минимальной площади детектирования (критерий 1) получена на основе сбора статистики по регионам планеты. В условиях Пермского края она оказывается совершенно иной, особенно с учетом низового характера лесных пожаров. Так, по данным АПП ПК, все зарегистрированные за сезон 2011 года лесные пожары отнесены к низовым, что означает заведомую неприменимость критерия «для открытого пространства».

Применение перечисленных выше критериев позволяет объяснить почти все случаи «недетектирования» – наибольшее число пропущенных пожаров относится к критерию 1, наименьшее – к критерию 4. Облачность явилась основным фактором,

препятствующим детектированию пожаров по данным ДЗЗ: так, в алгоритме выявления аномальных тепловых точек (MOD14) производится автоматическое определение облачных пикселей и их исключение из последующего анализа. Влияние прочих факторов (например, наличие полога леса в случае низовых пожаров) является вторичным. Кроме того, сопоставление снимков с расчетными масками облачности показывает достоверность последних только для светлого времени суток.

Ежедневный мониторинг облачности над территорией Пермского края показал, что в среднем по летним месяцам уровень облачности составил:

июнь – 53–85% (колебания в разрезе лесничеств);

июль – 39–58%;

август – 49–85%.

При сплошной облачности (80–100%), имевшей место в течение большей части летнего периода, детектирование пожаров практически невозможно.

Анализ причин недетектирования крупных пожаров

Неудачи в детектировании наиболее крупных пожаров 147, 150 и 153 с площадью ликвидации 50, 22,2 и 7,8 га соответственно (нумерация и площади – согласно данным АПП ПК), заслуживают отдельного анализа с целью выявления причин. Для получения дополнительных данных использованы результаты спутниковой съемки LANDSAT 5-TM с пространственным разрешением 30м.

Пожар 147. По данным АПП ПК, это наиболее крупный пожар из числа недетектированных – обнаружен 10.08.2011 в 15:45 в Березовском участковом лесничестве, площадь обнаружения – 0,05 га (что исключает возможность раннего обнаружения средствами космического мониторинга). В условиях сухой и жаркой погоды (температура +30° и выше) пожар был локализован только 14.08.2011 в 23:30, при площади локализации 50 га, ликвидирован 18.08.2011 в 08:30.

В период с 11 по 13 августа имела место переменная и малая облачность, что позволяет утверждать – облачность не являлась основной причиной недетектирования. Снимок LANDSAT 5-TM (пространственное разрешение 30 м) за 13 августа в радиусе 10 км от указанного места пожара не показал никаких признаков горения, дымовые шлейфы и видимые изменения растительности также отсутствуют. Уместно предположить, что период активного распространения пожара наблюдался уже после пролета спутника LANDSAT. Подтвердить это возможно при получении качественных снимков на последующий период, с целью выявления гари и оценки ее площади.

Можно также предположить, что зоны активного горения в каждый момент времени локализовались на достаточно малой площади,

много меньшей, чем площадь выгоревшей территории. Из всех случаев недетектирования пожаров этот наиболее сложно поддается объяснению, так как на снимке высокого разрешения обнаружена крупная гарь.

Пожары 150 и 153. Вероятно, номера 150 и 153 (по данным АПП ПК) характеризуют один и тот же крупный пожар, который действовал в период 11–13.08.2011. Пожар 150 был обнаружен 12.08.2011 в 11:00 на площади 20 га и ликвидирован 14.08.2011 в 08:00 на площади 22,2 га соответственно пожар 53 обнаружен 11.08.2011 в 22:00 на площади 5,3 га и ликвидирован 13.08.2011 в 14:35 на площади 7,8 га.

При сопоставлении разновременных снимков LANDSAT 5-TM обнаружена гарь площадью 80 га на северном берегу оз. Тылта на востоке Большого Камского болота. Положение гари совпадает с пожаром 153, однако ее площадь в *десять раз* превышает площадь пожара по официальным данным. В свою очередь координаты пожара 150 указаны с явной ошибкой, т.к. в радиусе 3 км лесная растительность отсутствует. Уместно предположить, что точки 150 и 153 характеризуют один пожар.

Анализ облачности показывает, что она не может считаться причиной недетектирования данного пожара - так же, как и в случае с пожаром 147.

Оценка выгоревших площадей в пожароопасный сезон 2011 года

Для оценки выгоревших площадей в пожароопасный сезон 2011 года использованы разновременные мультиспектральные снимки LANDSAT 5-TM (разрешение 30 м) и SPOT-4 HRVIR (разрешение 20 м). Дешифрирование гарей было затруднено вследствие сохранения значительной облачности над рассматриваемой территорией после 15.08.2011. В связи с этим созданный векторный слой гарей 2011 года пока являются неполным.

Дешифрирование выгоревших территорий и отделение гарей текущего сезона от гарей 2010 года основано на сопоставлении разновременных снимков за первую и вторую половину пожароопасного сезона. Для оконтуривания гарей можно использовать следующие комбинации каналов разновременных снимков:

1. RGB-синтез коротковолнового ИК (SWIR), ближнего ИК (NIR) и зеленого (Green) каналов;
2. RGB-синтез из NIR каналов разновременных снимков, позволяющий выделить выгоревшие территории красным цветом;
3. Разностные вегетационные индексы: $DNDVI = NDVI_{pre} - NDVI_{post}$, где $NDVI_{pre}$ – индекс за период до пожара, $NDVI_{post}$ – индекс за период после пожара. Также используется индекс $DSWVI = SWVI_{pre} - SWVI_{post}$, где $SWVI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$. В этом случае гари дешифрируются как участки, на которых вегетационный индекс до пожара

значительно (на 0,2–0,4) больше, чем индекс после пожара.

Небольшие гари площадью менее 20 га дешифрировались нами визуально по RGB-синтезам разновременных снимков, для двух выявленных крупных гарей проведен анализ вегетационных индексов. В качестве исходных данных по пожарам использованы как сводки АПП ПК, так и данные по тепловым аномалиям.

Всего в северной части Пермского края и в буферной зоне выявлено 11 гарей от пожаров 2011 года на общей площади 759 га, в том числе 323,1 га – в пределах Пермского края и 435,6 га – в буферной зоне у границы Пермского края и республики Коми.

Использование данных ДЗЗ позволило получить оценки площади выгоревшей территории, значительно отличающиеся от официальных, и уточнить координаты зарегистрированных пожаров. Среди обнаруженных расхождений особенно выделяются следующие случаи:

1. Координаты пожара 133 указаны с существенной ошибкой. Так, крупная гарь обнаружена на удалении 4,5 км к югу от места его официального обнаружения (данные АПП ПК). Данные ДЗЗ указывают на то, что фактически пожары 132 (площадь ликвидации 58,2 га) и 133 (соответственно 37 га) представляли собой один очаг суммарной площадью 180 га, почти вдвое превышающей данные АПП ПК (по двум очагам сумма составила 95,2 га). Данный очаг был детектирован 26.07.2011 при пролете спутника Terra в 13:10 местного времени. Полученные снимки показывают, что координаты тепловых аномалий (данные ДЗЗ) лучше соответствуют выявленному по снимкам контуру гари, чем официальные данные.

2. По данным ДЗЗ удалось уточнить координаты и площадь пожаров 150 и 153, которые действовали в период 11-14.08.2011 (данные о площади пожаров приведены выше). Есть основания утверждать, что пожары 150 и 153 также являются одним крупным очагом, причем их общая пройденная огнем площадь более чем в 2,5 раза превышает официальные данные (площадь гари, обнаруженной на снимке LANDSAT 5 за 13 августа, составляет 80 га).

3. По данным ДЗЗ установлена также площадь, пройденная огнем при крупном пожаре в 10-км буферной зоне на границе Гайнского района и Республики Коми, который действовал в период 24–26.07.2011 и был детектирован средствами космического мониторинга. Площадь пожара составила не менее 435 га, в официальную сводку пожар не попал.

Для двух крупных гарей проведен анализ вегетационных индексов, с целью установить степень повреждения лесной растительности. В работе использована переклассификация NDVI, предложенная в работе [Юрикова, ?] (класс «4» соответствует полностью выгоревшим участкам, на которых растительность отсутствует. В свою очередь, значениям класса «0» при $NDVI > 0,3$ соответствуют слабо поврежденные участки).

Ниже в таблице приведено распределение площади гарей от пожаров 132 и 153 по степени поражения растительности. Пример дешифрирования гарей по изменению NDVI приведен на рис. 1.

Класс поражения	Гарь от пожара № 132	Гарь от пожара № 153
0 (NDVI > 0,3)	9.7 га	10.5 га
1 (NDVI = 0,3...0,2)	57.4 га	31.6 га
2 (NDVI = 0,2...0,1)	82.1 га	36.1 га
3 (NDVI = 0,1...0,0)	30.5 га	10 га
4 (NDVI < 0,0)	0.1 га	0 га
Суммарная площадь	179.8 га	88 га

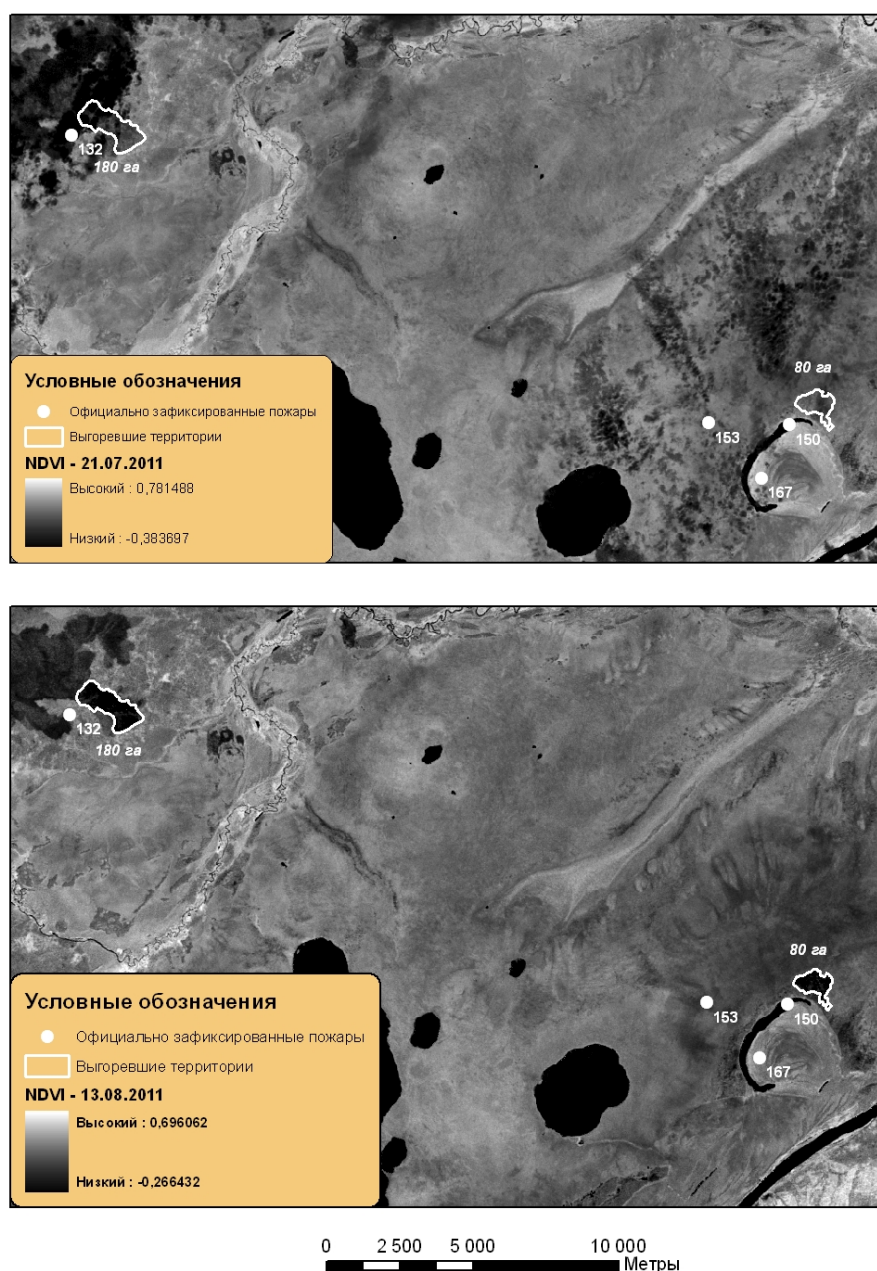


Рис. 1. Гари в районе Большого Камского болота, выделенные по изменениям NDVI

Выводы

Оперативный мониторинг лесных пожаров в Пермском крае доступными в настоящее время «традиционными» методами ДЗЗ малоэффективен в том смысле, что информация от наземных и авиационных служб контроля приходит быстрее.

Использование данных ДЗЗ после обнаружения пожара позволяет получать более точные данные (в сравнении с информацией АПП ПК – ошибка не более 500 м против 3–4 км в отдельных случаях), как о местоположении очага возгорания, так и о последствиях пожара (определение контура и площади выгоревшей территории). Вместе с тем эффективность такого «пост-анализа» определяется наличием а) безоблачной или малооблачной погоды и б) прохождением спутников в нужное время и в нужном месте.

Основным препятствием для успешного детектирования лесных пожаров в Пермском крае является облачность (сплошная облачность – около 60% за пожароопасный сезон, в среднем по времени и территории), второй по влиянию фактор – преимущественно (сезон 2011 года – исключительно) низовой характер лесных пожаров.

При имеющихся технологиях (спутники, сенсоры, алгоритмы) мониторинг лесных пожаров с помощью ДЗЗ оправдан в тех случаях, если а) рассматривать ДЗЗ как альтернативный источник информации для уточнения и проверки данных наземных и авиационных служб контроля; б) использовать ДЗЗ для пост-анализа последствий и оценки ущерба.

Определенное (но не кардинальное) повышение эффективности детектирования может быть достигнуто за счет подстройки параметров алгоритма под местные условия.

Библиографический список

1. Афонин, С.В. Анализ региональных спутниковых данных MODIS PRODUCTS / С.В. Афонин, Н.В. Белов, М.В. Энгель // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса*. 2005. Т. 2. № 2. С. 336–342.
2. Галеев, А.А. Построение адаптивного алгоритма детектирования пожаров / А.А. Галеев, С.А. Барталев, Д.В. Ершов, Ю.С. Крашенинникова и др. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса*. 2008. Т. 5. № 1. С. 58–68.
3. Галеев, А.А. Сопоставление информации о лесных пожарах по данным спутниковых, наземных и авиационных наблюдений ИСДМ-Рослесхоз / А.А. Галеев, Р.В. Котельников, Ю.С. Крашенинникова, Е.А. Лупян и др. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса*. 2008. Т. 5. № 2. С. 458–468.

4. Рыбчак, Н.В. Анализ лесопожарной обстановки на территории Мурманской области в 2010 г. с использованием спутниковой информации / Н.В. Рыбчак, М.Г. Утробин // Земля из Космоса – наиболее эффективные решения. 2010. № 7. С. 60–66.