

Алгоритм детектирования точек вероятного возгорания по данным прибора АНІ КА Himawari-8

И. С. Пустынский, Ю. А. Шамилова, Е. И. Холодов, В. В. Суханова

*ДЦ ФГБУ «НИЦ «Планета», Хабаровск, 680000, Россия
E-mail: ovp@dvrcpod.ru*

В работе представлен разработанный в Дальневосточном центре НИЦ «Планета» оригинальный алгоритм детектирования точек вероятного возгорания по данным прибора АНІ геостационарного космического аппарата Himawari-8. В алгоритме для определения точек вероятного возгорания, помимо традиционных методов детектирования, используется метод, основанный на главном преимуществе геостационарных спутников, — высокой частоте съёмки одной и той же территории. Авторами разработан оригинальный пространственно-временной контекст, позволяющий достичь оптимального баланса между периодичностью наблюдения и вероятностью детектирования мелких очагов горения на ранней стадии. При сопоставлении результатов работы алгоритма с данными полярно-орбитальных космических аппаратов за пожароопасный период 2017 г. установлено, что с учётом разрешающей способности прибора АНІ информация о точках вероятного возгорания, детектированных алгоритмом, может использоваться для принятия ранних предупредительных мер на наиболее пожароопасных участках. Обнаружение точек вероятного возгорания фиксировалось на 2,83 ч раньше, чем по данным полярно-орбитальных космических аппаратов, близких по времени, что наглядно свидетельствует, что применение пространственно-временного контекста существенно расширило возможности алгоритма по детектированию температурных аномалий в период их возникновения.

Ключевые слова: Himawari, АНІ, пожары, детектирование ТВВ

Одобрена к печати: 30.10.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-33-43

Введение

Решение проблемы оперативного и качественного спутникового мониторинга пожарной обстановки, в том числе обнаружения очагов возгорания растительного покрова на начальной стадии, во многом зависит от наличия и своевременности получения объективной информации. В условиях ветреной погоды задержка (4–6 ч) обнаружения даже небольшого пожара может привести к серьёзным последствиям. Возможности выявления точек вероятного возгорания (ТВВ) на основе автоматических процедур обработки данных полярно-орбитальных спутников подробно обсуждаются в работах (Беляев и др., 2005; Галеев и др., 2008; Лупян и др., 2017; Justice et al., 2002). При всех своих преимуществах относительно других видов мониторинга использование информации только полярно-орбитальных спутников имеет ряд существенных недостатков: невысокая периодичность получения данных (несколько раз в сутки) и сильное влияние погодных условий. В настоящей статье рассматривается принципиально новый алгоритм автоматического детектирования ТВВ по данным прибора АНІ геостационарного космического аппарата (КА) Himawari-8. Спектральные характеристики и высокая частота съёмки (каждые 10 мин) КА Himawari-8 позволили реализовать не только классический подход, основанный на пороговых значениях температур, но и подключить оригинальный пространственно-временной контекст, позволяющий достичь оптимального баланса между периодичностью наблюдения и вероятностью детектирования мелких очагов горения на ранней стадии. Полученные результаты показали, что с учётом разрешающей способности прибора АНІ информация о ТВВ, детектированных алгоритмом, может использоваться для принятия ранних предупредительных мер на наиболее пожароопасных участках.

Постановка задачи

Характеристики прибора АНІ геостационарного спутника Himawari-8, созданного, прежде всего, для решения метеорологических задач, оказались приемлемыми и для использования его данных в качестве дополнительного мониторингового инструмента в системах спутникового выявления природных пожаров. Этому способствовали следующие обстоятельства: а) обширная территория съёмки, позволяющая контролировать большую часть поверхности видимого земного диска; б) высокая частота съёмки (каждые 10 мин); в) наличие у прибора АНІ спектрального канала 3,9 мкм, расположенного вблизи максимума интенсивности инфракрасного излучения термических аномалий; г) наличие каналов в видимой (ТВ) и дальней инфракрасной (ИК) областях спектра, позволяющих отделить пожары от большого количества объектов (шумов), по температурным и пространственным характеристикам сходных с очагами пожаров, но не различимых по измерениям в канале 3,9 мкм.

Однако геостационарная орбита определяет и основной недостаток АНІ, который заключается в сравнительно низком пространственном разрешении этого прибора, составляющем в надире 2 км, а, например, над наиболее пожароопасными районами Дальнего Востока — 3–4 км. Такое разрешение обуславливает сложность использования АНІ для эффективного решения проблемы не только раннего обнаружения природных пожаров, но и детектирования мелкомасштабных очагов, находящихся в стадии горения длительное время.

Задача состоит в разработке алгоритма, использующего существующие методики детектирования очагов пожаров, а также дополненного новыми признаками применительно к данным прибора АНІ. Для достижения такой цели важно, чтобы алгоритм обладал следующими свойствами:

- 1) высокая эффективность: возможность обнаружения очагов возгорания на ранней стадии и в промежутках между облачностью;
- 2) минимизация вероятности ошибок («ложных» тревог);
- 3) время, затрачиваемое на обработку данных и выдачу информации о координатах, выявленных ТВВ, не должно превышать 10 мин.

Построение облачной и водной маски

Как и в любом другом алгоритме, предназначенном для детектирования мелкомасштабных температурных аномалий, на начальном этапе требуется определить на изображении безоблачные пиксели, для которых будут в дальнейшем применяться процедуры обработки. В представленном в настоящей статье алгоритме может быть использована любая маска облачности, включающая в себя четыре класса: облачно, возможно облачно, возможно безоблачно, безоблачно. В данном случае авторами была выбрана маска облачности, рассчитанная программным пакетом The Clouds from AVHRR Extended (CLAVR-x) (Heidinger et al., 2004). Последняя версия пакета, адаптированная для работы с данными прибора АНІ, позволяет идентифицировать безоблачные пиксели с малой неопределённостью, что является важным моментом при выявлении тепловых аномалий.

Водные пиксели отсекаются с использованием маски типов поверхности Земли, в которой присутствует класс воды, имеющий значение 0. В работе авторами была выбрана маска типов поверхности Земли, основанная на продукте MODIS landcovertype (MCD12Q1).

Компоненты алгоритма

С учётом поставленной задачи раннего обнаружения ТВВ разработчиками была предпринята попытка на начальных этапах обнаружить вновь появившиеся и мелкомасштабные пожары, а уже на заключительных подтвердить наличие очагов, действующих длительное время. Это стало возможным благодаря реализованной в алгоритме концепции, заключающейся не в поиске на изображении потенциальных ТВВ, а в поэтапном исключении пикселей, не соответ-

ствующих ТВВ по определённым для каждого из этапов признакам и, соответственно, сокращении времени для дальнейшей обработки. Перед началом работы алгоритма пиксели, для которых отсутствуют данные или которые содержат помехи, классифицируются как потерянная информация и исключаются из рассмотрения. Облачные и водные пиксели, определённые с использованием облачной и водной масок, также в тестах не рассматриваются.

Пороговый тест

Проведённые эксперименты показали, что применение для данных АНІ стандартных пороговых тестов, основанных на оценке значений яркостных температур в средней и длинноволновой ИК-области, неэффективно. Практически невозможно достичь компромисса между достоверностью детектируемых ТВВ (высокие пороги) и способностью алгоритма различать пожары слабой интенсивности (низкие или средние пороги) — алгоритм либо не помечал «горячие» пиксели, либо выдавал много «ложных» тревог. Этот факт в основном и стал главным в выборе дальнейшего подхода, а именно «отсева» пикселей, которые с большим процентом достоверности не могут быть потенциальными очагами пожаров.

Этап 1. Отсечение пикселей с пониженной яркостной температурой.

На первом этапе было поставлено условие, при котором все пиксели, в которых значения яркостных температур в средней (7-й канал прибора АНІ, далее — B_7) и длинноволновой (14-й канал прибора АНІ, далее — B_{14}) ИК-области меньше пороговых, считаются свободными от пожаров и удаляются из дальнейшей обработки.

$$\begin{cases} T_{b7} < Th_{b7t}, \\ T_{b7} - T_{b14} \leq Th_{b7-b14}, \end{cases}$$

где T_{b7} — значение яркостной температуры в B_7 (3,9 мкм); T_{b14} — значение яркостной температуры в B_{14} (11,2 мкм); Th_{b7t} — порог отсекаемых точек вероятного возгорания по B_7 ; Th_{b7-b14} — порог отсекаемых точек вероятного возгорания по разнице в B_7 и B_{14} .

При расчёте порогов зона интереса делится на равные полосы шириной около 5 градусов по дуге меридиана. Для каждой полосы пороговые значения рассчитываются в каждом канале как среднее значение яркостных температур всех участвующих в обработке пикселей. Данное деление было введено с целью более детального учёта региональной и сезонной изменчивости характеристик земной поверхности, а также влияния смежных пикселей друг на друга в зависимости от угла съёмки.

Эксперименты показали, что рассчитываемые таким образом динамические пороги в подавляющем большинстве случаев не превышают значений, определяющих минимальный размер и энергию для пожаров, которые могут быть обнаружены, и в то же время позволяют «отсеять» площади, не занятые пожаром. В результате значительно уменьшается число оставшихся в обработке пикселей, что позволяет сократить вычислительные ресурсы и время работы алгоритма на следующих этапах.

Тест на наличие замкнутого контура

Как известно, контраст между высокотемпературным объектом и окрестным фоном наиболее ярко выражен в канале B_7 . Однако такой же особенностью обладают и края облачности, а также объекты с высоким собственным излучением («шумы»), т. е. с высокой радиационной температурой, за счёт поглощения солнечного излучения. При этом действующий пожар, за редким исключением, характеризуется линейными размерами, гораздо меньшими, чем фронтальные облачные массивы или большинство «шумов», и может быть оконтурен.

Этап 2. Проверка на наличие замкнутого контура.

Задача выявления контуров связана с локализацией на изображении резких перепадов яркостной температуры, характеризующей пиксел или группу пикселей, и оценкой их линейных

размеров. За основу при решении этой задачи был взят метод Собеля (Sobel, 1990), использующий для вычисления градиента интенсивности специальные ядра, известные как «операторы Собеля».

В результате обработки изображения вокруг потенциальных ТВВ, переданных с предыдущего этапа, получается бинарная матрица, где единицам соответствуют точки со значительным перепадом яркости, нулям — все остальные. Следующий этап — сегментирование изображения. Целью является поиск вокруг объектов, соответствующих единице, замкнутых контуров, включающих точки, соответствующие нулю. Для выделения границы одного объекта (потенциального пожара) в матрице по определённому алгоритму ищется элемент, равный единице, не отнесённый ранее ни к какому другому объекту; далее считается, что все соседние элементы, равные единице, также принадлежат этому объекту, и т.д. Для выделения точек внешнего контура (нули) используется обход полученного объекта по внешней его стороне, начиная с нижней левой точки и заканчивая ею же. Обход точек ведётся последовательно против часовой стрелки. Поиск замкнутого контура осуществляется в окрестности, ограниченной размером 13×13 пикселей, так как дальнейшее её увеличение не сопоставимо с размерами области, предполагающей наличие пожара. Если контуры не замыкаются, то данные пиксели исключаются из дальнейшей обработки. С учётом размеров задаваемых окрестностей, а также преднамеренно заниженных порогов градиентов интенсивности данный этап позволяет отсеять только крупные «ложные» срабатывания и оставляет ошибочные детектирования, сопоставимые с размерами пожаров. Для их фильтрации требуются дополнительные тесты.

Этот этап, наряду с предыдущим, также позволяет удалить из дальнейшей обработки значительные площади изображения, в границах которых с большой достоверностью отсутствуют потенциальные ТВВ. Дальнейшие работы показали, что применение описанных выше этапов позволяет сократить время на обработку изображения с целью детектирования ТВВ с 20 до 2 мин, что соответствует требованиям, предъявленным на этапе постановки задачи.

Пространственно-временной контекст

За основу при проведении дальнейших тестов была взята методика обнаружения мелкомасштабных (до 10 м^2) высокотемпературных объектов, разработанная в Центре космического мониторинга Института солнечно-земной физики СО РАН. Данная методика хорошо зарекомендовала себя при выявлении пожаров по данным приборов AVHRR и MODIS и активно используется при ручной коррекции «горячих» точек, поступающих в ИСДМ Рослесхоза. По результатам применения для данных АНІ дешифровочных признаков, предусмотренных этой методикой, выяснилось, что при фильтрации «ложных» срабатываний также «отсеиваются» пиксели, которые в действительности являются ТВВ, но не в стадии активного горения, а только появившимися. Это связано с особенностью съёмки, заключающейся в повышении влияния яркости соседних пикселей друг на друга при увеличении угла съёмки. В результате наблюдается незначительное, но достаточное для выравнивания с окрестным фоном изменение значения яркостной температуры исследуемого пиксела.

Таким образом, возникла необходимость выявления только появившихся ТВВ или ТВВ на ранних стадиях до применения дополнительных тестов. Для решения этой задачи было использовано основное преимущество КА Himawari-8 — высокая периодичность съёмки. Применение к оставшемуся после первых двух этапов набору данных пространственно-временного контекста позволило идентифицировать пиксели, в которых возгорание произошло в течение двух последних часов. Этот этап — наиболее важный во всём алгоритме и единственный, где пиксели, прошедшие проверку, не переходят в дальнейшую обработку, а сразу заносятся в базу данных, как подтверждённые ТВВ.

Этап 3а. Проверка временным контекстом.

С использованием динамики изменения яркостной температуры в пикселе по каналам B_7 и B_{14} в течение двух последних часов (12 предшествующих сроков) исследуемая «потенциальная» ТВВ проверяется на наличие статистически значимого «скачка» яркостной температуры в канале B_7 и отсутствие такового в канале B_{14} (рис. 1, см. с. 37).

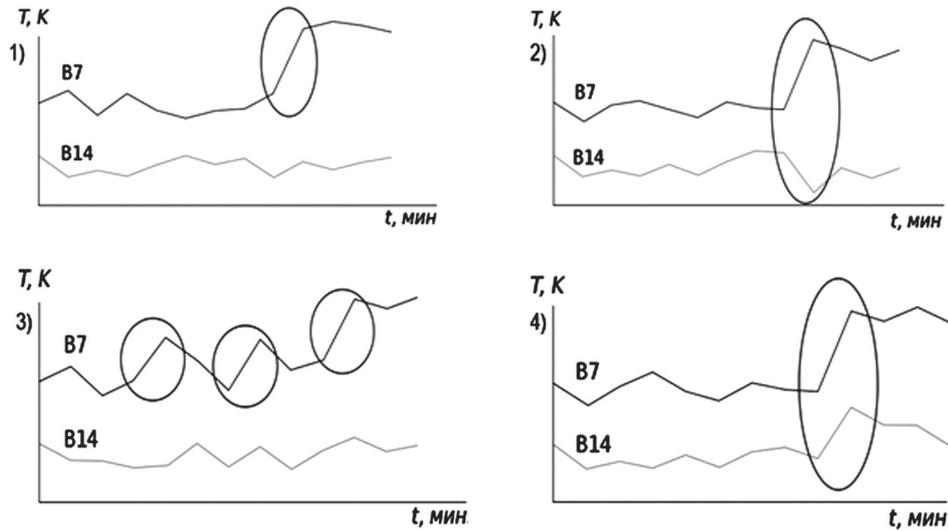


Рис. 1. Пример прохождения теста

На рис. 1 представлены четыре случая, среди которых только первый удовлетворяет описанным условиям. Остальные три не проходят проверку и исключаются из обработки.

Статистическая значимость «скачка» выявляется путём сравнения табличного значения критерия Стьюдента с расчётным, где нормативным показателем выступает максимальная разность яркостных температур смежных сроков, наблюдаемая на исследуемом интервале. Доверительная вероятность при выборе табличного значения критерия Стьюдента подбиралась эмпирически и составила 0,90.

Этап 3б. Проверка пространственным контекстом.

Далее пиксели, прошедшие проверку на наличие «скачка», проверяются на наличие статистически значимого отклонения от окрестных пикселей в канале B_7 и отсутствие такого отклонения в канале B_{14} .

Наличие или отсутствие отклонения выявляется по аналогии с предыдущим этапом, но в выборку при расчёте критерия Стьюдента здесь включаются максимальные разности яркостных температур в окрестных пикселях, выявленные на таком же двухчасовом интервале, как и у проверяемого пикселя. Пригодные окрестные пиксели определяются как: 1) содержащие пригодные к использованию наблюдения; 2) расположенные на суше; 3) не содержащие облака; 4) не имеющие «скачка» по результатам проверки на предыдущем этапе. Начальный размер окна для формирования окрестности выбирается 3×3 пикселя. Далее окно увеличивается (вплоть до максимального размера 13×13), пока по крайней мере 20 пикселей внутри окна не будут пригодными. Доверительная вероятность при выборе табличного значения критерия Стьюдента здесь также установлена 0,90.

Как указывалось, ранее, пиксели, в которых в течение двух последних часов был выявлен значимый «скачок» и подтверждено отклонение от окрестных пикселей, в следующих проверках не участвуют и сразу заносятся в базу данных как подтверждённые ТВВ.

Дополнительные проверки

Для оставшихся «потенциальных» ТВВ были повторно применены дополнительные тесты по методике Института солнечно-земной физики СО РАН. Их основная задача состояла в дальнейшем поэтапном выявлении и исключении «ложных» срабатываний с целью подтверждения с максимальной достоверностью действующих пожаров.

Этап 4. Использование видимого канала B_3 (0,64 мкм).

В ряде случаев в светлое время суток плоская кучевая облачность, не распознанная маской облаков, имеет в канале B_7 характеристики яркостных температур, схожие с ТВВ.

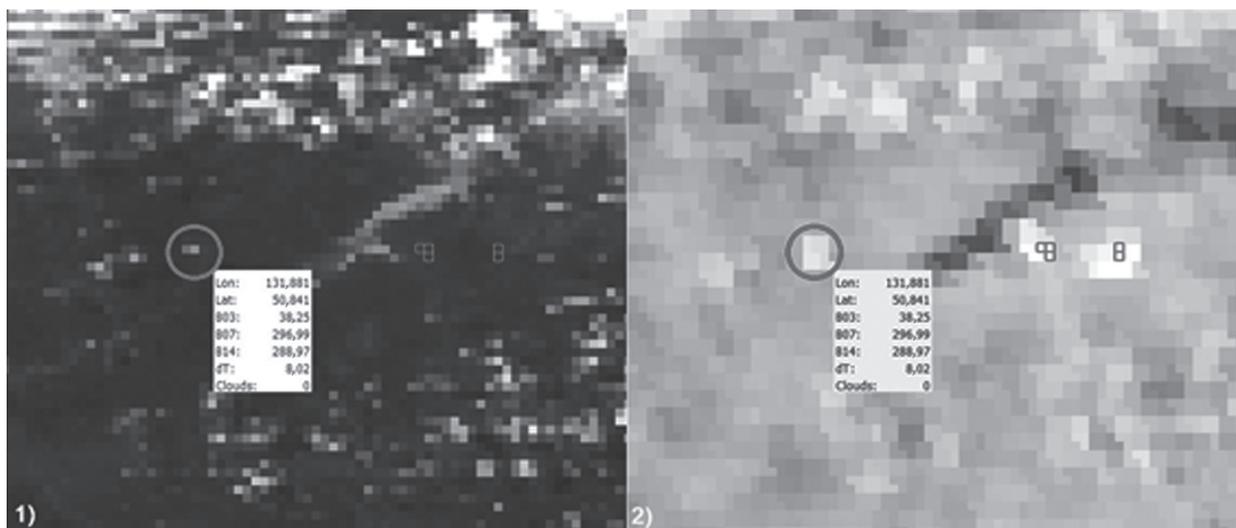


Рис. 2. Пример применения дополнительного теста на отсеечение «ложной» ТВВ при наличии плоской кучевой облачности: слева — канал B_3 , справа — канал B_7

Для выявления таких случаев проверяется значение отражательной способности в видимом канале B_3 (0,64 мкм). Если исследуемый пиксель в этом канале имеет высокое значение отражательной способности (более 30 %), то он относится к «ложным» срабатываниям и исключается из дальнейшей обработки.

На рис. 2 представлен пример отсеечения «ложной» точки в видимом канале B_3 (выделена кругом), по своим характеристикам в канале B_7 схожей с реальными ТВВ (выделены квадратами).

Этап 5. Проверка «потенциальной» ТВВ по значениям в канале B_{14} (11,2 мкм) относительно окружающего фона.

Целью данного этапа является отсеечение «ложных» ТВВ в случаях погрешностей маски облачности. Пиксели на краях облачности при незначительных её линейных размерах (не прошедших тест на замкнутый контур), а также в случаях наличия локальной мелкомасштабной облачности в ночное время будут иметь характеристики в канале B_7 , схожие с ТВВ, однако в канале B_{14} (11,2 мкм) они имеют пониженную яркость.

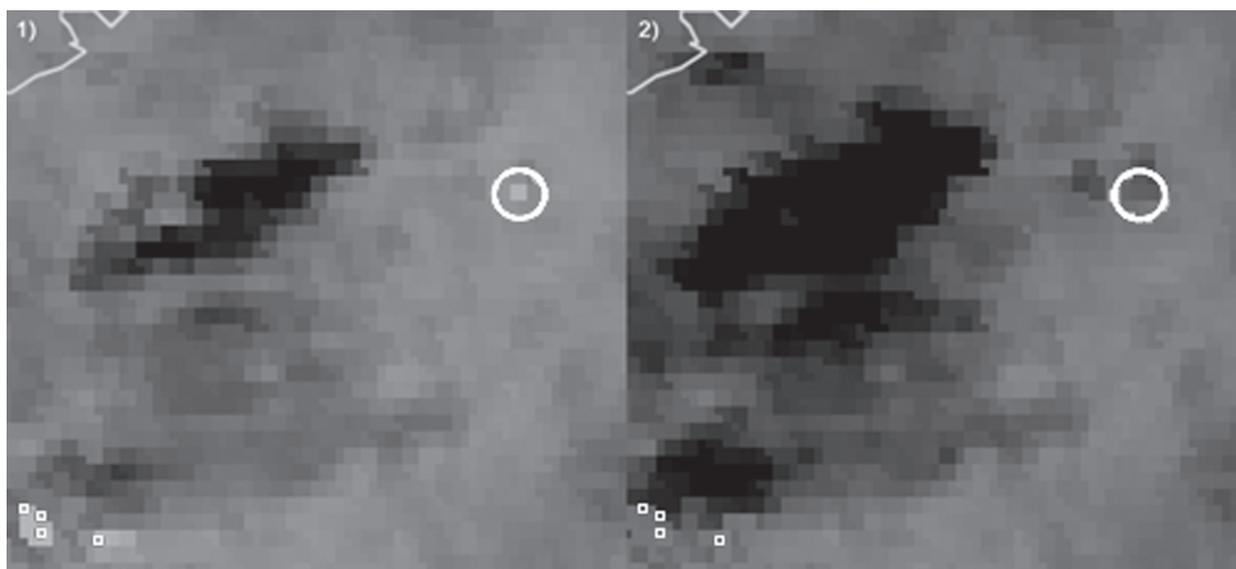


Рис. 3. Пример применения дополнительного теста на «ложные» срабатывания по каналу B_{14} : слева — канал B_7 , справа — канал B_{14}

Таким образом, если значение яркостной температуры в пикселе, рассматриваемом как «потенциальная» ТВВ, в канале B_{14} (11,2 мкм) ниже значения яркостной температуры окружающего фона, то такой пиксель также исключается из дальнейшей обработки. На *рис. 3* (см. 38) представлен пример отсека пиксела с пониженной яркостью в канале B_{14} (выделен кругом), по своим характеристикам в канале B_7 схожей с реальными ТВВ (выделены квадратами).

Этап 6. Сравнение текстур области «потенциальной» ТВВ в каналах B_7 и B_{14} .

Целью данного этапа является выявление «ложных» срабатываний, характеризующихся в подобных работах как «шумы» второго рода: районы сельскохозяйственной деятельности, промышленных разработок (карьеры, отвалы породы и т. д.); районы, занятые определёнными типами растительности до развития вегетации. При прогреве таких объектов температура в канале B_7 также может достигнуть температуры насыщения, однако их линейные размеры не позволяют отсечь эти объекты на этапе теста на наличие замкнутого контура. Для выявления таких «шумов» используется тест на сравнение текстур областей, содержащих пиксели, рассматриваемые как «потенциальная» ТВВ. В случае «пожара» на изображении канала B_7 исследуемая область будет иметь чёткие очертания, которые не должны присутствовать на изображении канала B_{14} . Схожесть определяется методом регрессии, порог отсека которой рассчитывается автоматически в зависимости от размеров области вероятного возгорания: чем область больше, тем порог меньше. Если в исследуемой области регрессия больше порогового значения, пиксели удаляются. На *рис. 4* представлен пример отсека «потенциальных» ТВВ (область выделена кругом), по своим характеристикам в канале B_7 схожими с реальными ТВВ (выделены квадратами).

Практика показала, что после применения перечисленных дополнительных тестов в данном алгоритме достигается минимизация вероятности ошибок («ложных» тревог). Дальнейшие проверки приводили только к уменьшению количества достоверно определённых ТВВ, поэтому оставшиеся после шестого этапа пиксели автоматически помечаются как ТВВ и добавляются в результирующий список базы данных.

Этап 7. Ввод учёта ближайших по времени результатов ручной коррекции.

Для повышения качества работы автоматического алгоритма дополнительно вводится этап учёта ближайших по времени результатов критконтроля, который является необязательным и вводится только по факту проведения ручной коррекции оператором.

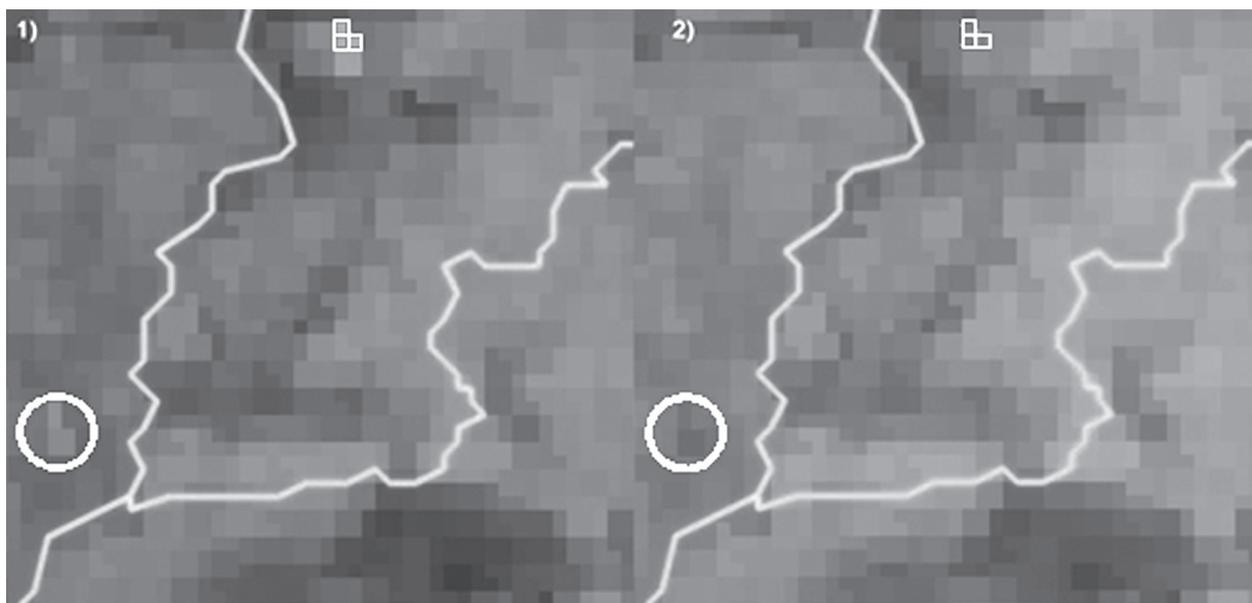


Рис. 4. Пример применения дополнительного теста на «ложные» срабатывания по схожести текстуры области изображений в каналах B_7 и B_{14} : слева — канал B_7 , справа — канал B_{14}

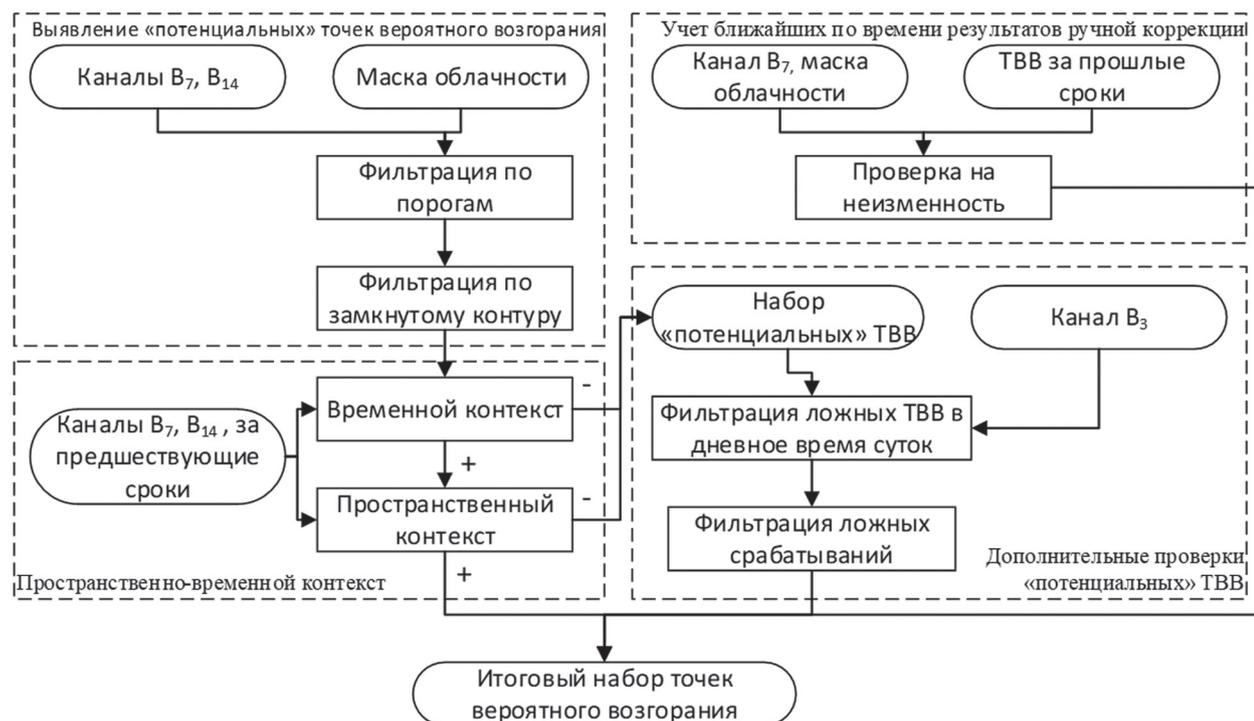


Рис. 5. Общая схема работы алгоритма

Точки, отсеянные автоматическим алгоритмом, но детектированные оператором при ручной коррекции как ТВВ, на следующем сроке проходят дополнительный тест проверки изменения значений яркостной температуры в канале V_7 ; если температура в этом пикселе выросла или не изменилась, он добавляется в результирующий набор как подтвержденная ТВВ.

Общая схема работы полученного алгоритма для обработки данных прибора АНІ КА Німавагі-8, с учётом результатов ручной коррекции, представлена на рис. 5.

Оценка работы алгоритма

Для проверки качества работы алгоритма использовались данные смежных по времени пролётов полярно-орбитальных КА Terra, Aqua и NOAA-18, прошедшие обработку автоматическим алгоритмом в системе ИСДМ-Рослесхоза с последующей ручной коррекцией операторами Дальневосточного центра НИЦ «Планета»; оценка проводилась на территории Хабаровского края. Для оценки брались два смежных пролёта, на которых фиксировалось присутствие ТВВ на более позднем пролёте и отсутствие в области (размером 5×5 км) ТВВ на раннем пролёте. Максимальная разница во времени между пролётами бралась не более шести часов. Координаты точек, подходящих под вышеуказанные условия, сопоставлялись с координатами ТВВ, детектированными по данным КА Німавагі-8 на интервале между смежными пролётами полярно-орбитальных КА.

В результате обработки выборки за пожароопасный период 2017 г. общее количество вновь появившихся ТВВ, детектированных по данным КА Німавагі-8, относительно вновь появившихся ТВВ, детектированных по данным полярно-орбитальных КА, составило 79,65 %: 10 269 из 12 893 — на 415 смежных пролётах. На рис. 6 представлена гистограмма распределения ТВВ по времени возникновения.

На рис. 7 представлена гистограмма распределения случаев раннего детектирования ТВВ для различных временных интервалов между смежными пролётами полярно-орбитальных КА: до 2 ч, от 2 до 4 ч и от 4 до 6 ч. На гистограмме по оси ординат представлено количество

зафиксированных ТВВ, а по оси абсцисс — время, на которое по данным КА Himawari-8 потенциальная ТВВ была обнаружена раньше, чем по данным полярно-орбитальных КА.

В среднем при разнице между смежными витками полярно-орбитальных КА до 120 мин ТВВ обнаруживается по данным Himawari-8 на 56,31 мин раньше, при разнице между пролётами до 240 мин — на 113,22 мин раньше и при разнице до 360 мин — на 170,32 мин раньше, чем по данным полярно-орбитальных КА. Таким образом, применение данных КА Himawari-8 для мониторинга температурных аномалий существенно расширяет возможности детектирования ТВВ на ранней стадии

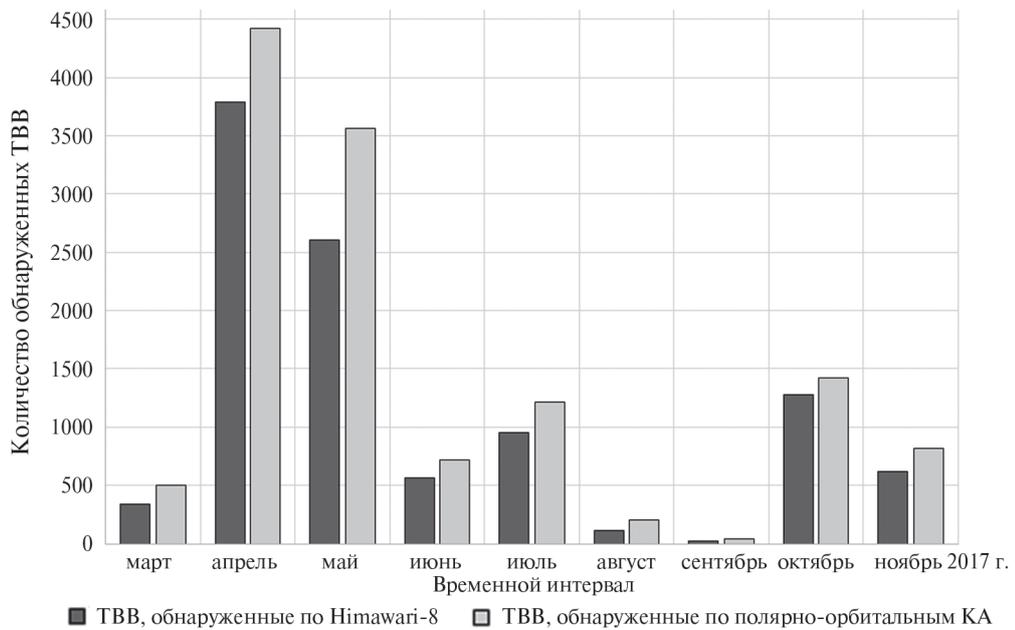


Рис. 6. Гистограмма распределения количества вновь появившихся ТВВ, детектированных по данным КА Himawari-8, относительно вновь появившихся ТВВ, детектированных по данным полярно-орбитальных КА

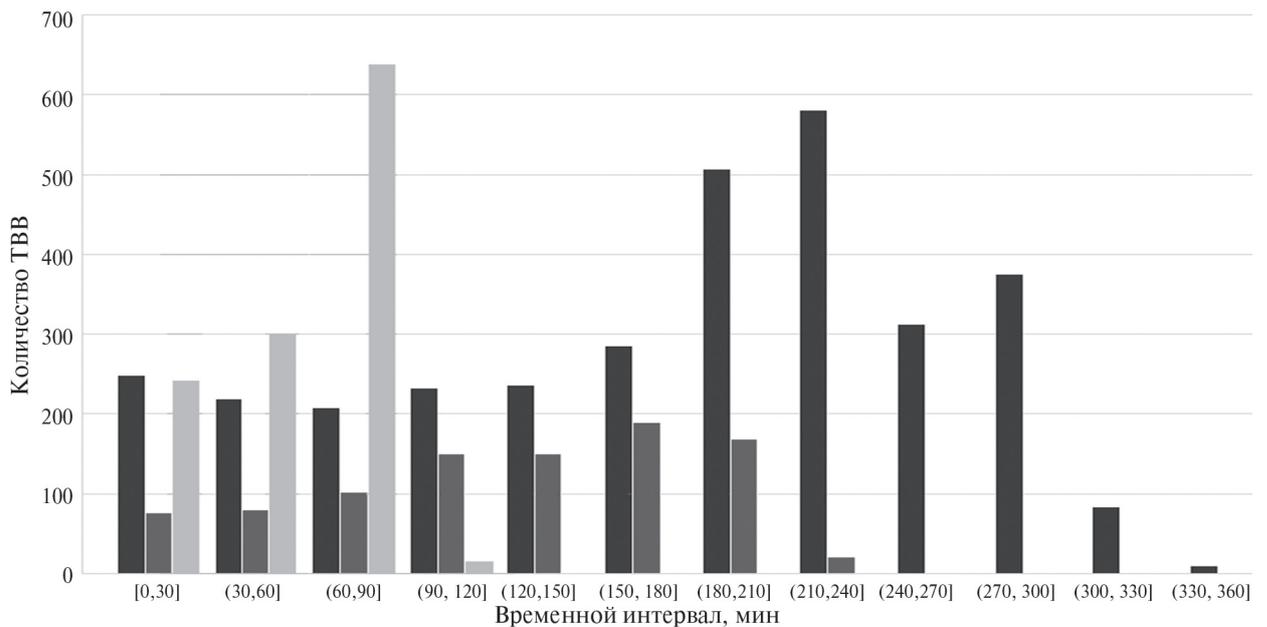


Рис. 7. Гистограмма распределения случаев раннего детектирования ТВВ по данным КА Himawari-8 относительно данных полярно-орбитальных КА для различных временных интервалов между их смежными пролётами: чёрный — от 4 до 6 ч; серый — от 2 до 4 ч; светло серый — до 2 ч

Заключение

В результате проделанной работы был создан оригинальный алгоритм детектирования ТВВ, который стал основой Системы раннего обнаружения лесных пожаров, использующей данные прибора АНІ геостационарного КА Himawari-8.

Спектральные характеристики и высокая частота съёмки (каждые 10 мин) КА Himawari-8 позволили реализовать не только классический подход, основанный на пороговых значениях температур, но и подключить оригинальный пространственно-временной контекст, позволяющий достичь оптимального баланса между периодичностью наблюдения и вероятностью детектирования мелких очагов горения. Такой подход является новизной в практике космического мониторинга лесных пожаров, в том числе за счёт возможности информационного заполнения «слепых» промежутков в 4–6 ч между пролётами полярно-орбитальных спутников.

Литература

1. *Беляев А. И., Коровин Г. Н., Лупян Е. А.* Использование спутниковых данных в системе дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2005. Вып. 2. Т. 1. С. 20–29.
2. *Галеев А. А., Котельников Р. В., Крашенинникова Ю. С., Лупян Е. А., Сементин В. Л., Флитман Е. В., Щербенко Е. В.* Сопоставление информации о лесных пожарах по данным спутниковых, наземных и авиационных наблюдений ИСДМ-Рослесхоз // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2008. Вып. 5. Т. 2. С. 458–468.
3. *Лупян Е. А., Барталев С. А., Балашов И. В., Егоров В. А., Ершов Д. В., Кобец Д. А., Сенько К. С., Стыценок Ф. В., Сычугов И. Г.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175.
4. *Justice C. O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J. T., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y.* The MODIS fire products // *Remote Sensing of Environment*. 2002. V. 83. No. 1–2. P. 244–262.
5. *Heidinger A. K.* CLAVR-x Cloud Mask Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD): Technical Report. NOAA/NESDIS. Madison, WI, USA, 2004.
6. *Sobel I.* An isotropic image gradient operator // *Machine Vision for Three-Dimensional Scenes* / ed. H. Freeman. Academic Press, 1990. P. 376–379.

The algorithm for detecting hot points from the data of the AHI device Himawari-8

I. S. Pustynskiy, J. A. Shamilova, E. I. Kholodov, V. V. Suhanova

*Far Eastern Center of SRC Planeta, Khabarovsk 680000, Russia
E-mail: ovp@dvrcpod.ru*

The paper presents the original algorithm for detecting hot points of probable wildfires developed in the Far East Center of the SRC Planeta for the AHI device of the geostationary satellite Himawari-8. In the algorithm for detection hot points of probable wildfires, in addition to traditional methods of detection, we use a method based on the main advantage of geostationary satellites — the high frequency of the data of the same territory. The authors developed an original spatio-temporal context that makes it possible to achieve an optimal balance between the periodicity of observation and the probability of detecting small wildfires at an early stage. When comparing the results of the operation of the algorithm with the data of polar-orbital satellites for the period of 2017 it was established that, taking into account

the spatial resolution of the AHI device, information about the hot points of probable wildfires detected by the algorithm could be used to take early preventive measures in the most fire hazardous areas. The detection of hot points of probable wildfires was fixed 2.83 hours earlier than according to the data of polar-orbital satellites, which are close in time; it shows that the application of the spatio-temporal context significantly expanded the possibilities of the algorithm for detecting hot points in the period of their occurrence.

Keywords: Himawari, AHI, wildfires, hotspots, fire detection

Accepted: 30.10.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-33-43

References

1. Belyaev A. I., Korovin G. N., Loupian E. A., Ispol'zovanie sputnikovykh dannykh v sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov MPR RF (Using the satellite data in the systme of forest fires remote monitoring of Russian Agency for Forest Resources), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2005, Issue 2, Vol. 1, pp. 20–29.
2. Galeev A. A., Kotel'nikov R. V., Krashenninnikova Yu. S., Loupian E. A., Sementin V. L., Flitman E. V., Scherbenko E. V., Sopostavlenie informatsii o lesnykh pozharakh po dannym sputnikovykh, nazemnykh i aviatsionnykh nablyudenii ISDM-Rosleskhoz (Comparison of information about forest fires according to satellite, ground and aerial observations of ISDM-Rosleskhoz), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, Issue 5, Vol 2, pp. 458–468.
3. Loupian E. A., Bartalev S. A., Balashov I. V., Egorov V. A., Ershov D. V., Kobets D. A., Senko K. S., Styitsenko F. V., Syichugov I. G., Sputnikovyi monitoring lesnykh pozharov v 21 veke na territorii Rossiiskoi Federatsii (tsifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya) (Satellite monitoring of forest fires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (facts and figures based on active fires detection)), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 6, pp. 158–175.
4. Justice C. O., Giglio L., Korontzi S., Owens J., Morisette J. T., Roy D., Descloitres J., Alleaume S., Petitcolin F., Kaufman Y., The MODIS fire products, *Remote Sensing of Environment*, 2002, Vol. 83, No. 1–2, pp. 244–262.
5. Heidinger A. K., *CLAVR-x Cloud Mask Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*, Technical Report, NOAA/NESDIS, Madison, WI, USA, 2004.
6. Sobel I., An isotropic image gradient operator, In: *Machine Vision for Three-Dimensional Scenes*, H. Freeman (ed.), Academic Press, 1990, pp. 376–379.