

УДК 004.932: 623.746

М.Ю. Катаев, Е.Ю. Карташов, П.П. Гейко

## Обнаружение лесных пожаров по изображениям, полученным с БПЛА

Лесные пожары представляют собой серьезный природный риск, вызывающий экономические потери, гибель людей и значительный ущерб окружающей среде. Во всем мире проводятся исследования по разработке методов и устройств для обнаружения и последующего мониторинга лесных пожаров. Для решения этих задач наиболее распространенными являются системы дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров как наземного (подвижные или стационарные), воздушного (беспилотные летательные аппараты, самолеты и вертолеты), так и спутникового базирования. Эти системы обладают высокой эффективностью сбора данных и обнаружения пожаров, но ограничены относительно небольшими территориями. В реальности лесные пожары могут охватывать большие территории, в результате чего известные подходы мало пригодны для оптимального пространственного покрытия. Перспективным путем решения этой проблемы является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оказавшихся эффективными благодаря своей маневренности, позволяющей реализовать дистанционное получение информации в любом направлении, выбор стратегии построения маршрута полета и т.д. Таким образом, они представляют недорогую альтернативу известным подходам для обнаружения и мониторинга в реальном времени территории лесного пожара. В данной статье рассматривается методика раннего обнаружения лесных пожаров на основе обработки изображений, полученных с борта беспилотного моторного планера (БПМП), алгоритмами компьютерного зрения. Маршрут БПМП, выполняющего мониторинг по маршруту (круговому или эллиптическому), может быть составлен таким образом, чтобы регулярно можно было получать оперативную информацию о большой по площади территории. При этом, время полета БПМП может составлять от одного до нескольких часов с постоянной передачей полученных изображений в центр обработки, и тем самым появляется возможность извлечения информации об обнаружении лесного пожара на ранней стадии его возникновения, принятия оперативных мер и впоследствии контроля за его распространением.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, лесные пожары, изображение, методы обработки, анализ изображения.

**DOI:** 10.21293/1818-0442-2023-26-3-72-79

В работе фокусируется внимание на способах контроля за локализацией области возникновения и распространения лесных пожаров, являющихся стихийным бедствием [1, 2]. Лесной пожар – неконтролируемый, он распространяется под влиянием ветра, состояния погоды, а также типа и состояния растительного покрова и чаще всего встречаются в дикой природе или в районе сельскохозяйственных земель. В отличие от других стихийных бедствий, лесные пожары часто обусловлены действиями людей и климатических изменений, связанных с устойчивыми периодами высокой температуры без дождей.

С каждым годом наблюдается тенденция к увеличению возникновения лесных пожаров и ущерба, который они причиняют жизни и имуществу. Возникающее во время пожара большое количество дыма в воздухе загрязняет окружающее пространство, с которым сложно бороться из-за высокого уровня токсичности.

Учитывая масштабы потерь с точки зрения социально-демографических и социально-экономических последствий лесных пожаров, необходимо инвестировать значительные средства, время и усилия на проведение работ для раннего выявления и контроля пространственно-временной динамики лесных пожаров. В статье проводится краткий обзор БПЛА, используемых для обнаружения лесных пожаров, и предложена методика для мониторинга больших территорий с помощью беспилотного моторного планера (БПМП).

На рис. 1 приведены два варианта обнаружения лесных пожаров с помощью цифровых камер, установленных на борту беспилотных летательных аппаратов. Из рис. 1 видно, что специфика обнаружения пожара и задымления существенно отличается, так как при направлении видения камеры на горизонт (см. рис. 1, а) небо является существенным ограничением в поиске задымления за счет существенно большей яркости. В то же время при наблюдении с БПЛА в направлении к поверхности земли (см. рис. 1, б) небо не является помехой для наблюдения дыма и огня.

Поиск и безопасное обнаружение лесных пожаров могут иметь конкретный набор целей, которые должны быть достигнуты и имеют количественный набор показателей, связанных с полученными результатами. Можно выделить следующие цели: а) подготовка условий для обнаружения лесного пожара; б) обнаружение и локализация лесного пожара; в) моделирование распространения лесного пожара; г) мониторинг развития пожара; д) выделение и развертывание пожарных служб для тушения пожара. Степень пожарной опасности участков леса определяется на основе «Шкалы оценки лесных участков по степени опасности возникновения в них пожаров». По площади, охваченной огнем, лесные пожары подразделяются на 6 классов: загорание – 0,2–0,1 га; малый пожар – 0,2–2,0 га; небольшой пожар – 2,1–20 га; средний пожар – 21–200 га; крупный пожар – 201–2000 га; катастрофический пожар – более 2000 га [3].

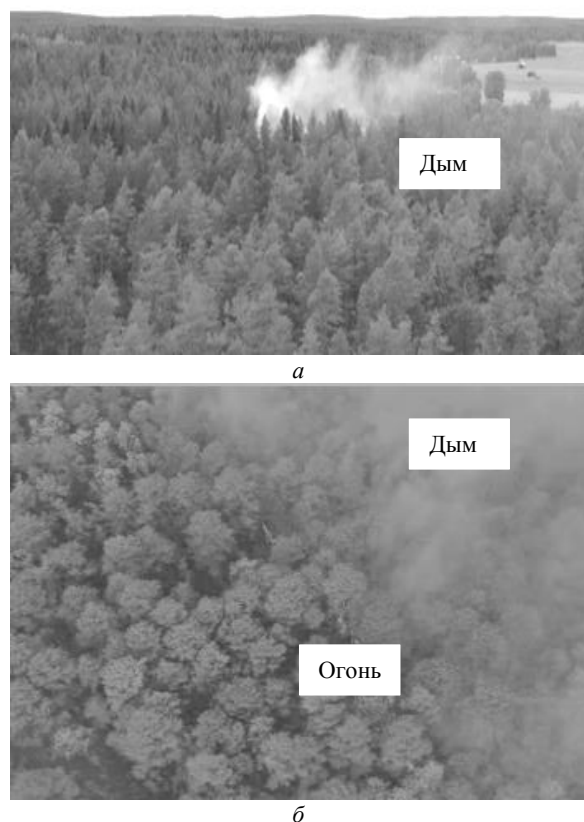


Рис. 1. Изображения разных лесных пожаров, полученных с помощью цифровых камер, установленных на борту БПЛА: *а* – направление на горизонт; *б* – направление к поверхности земли

Два ключевых элемента важны в усилиях по уменьшению воздействия лесных пожаров на территорию: 1) промежуток времени между обнаружением пожара и появлением пожарных необходимо свести к минимуму, что уменьшает вероятность распространения пожара, и 2) оценка серьезности события и мониторинг ситуации, связанной с развитием пожара. По этим причинам важно иметь надежные и эффективные системы раннего обнаружения и мониторинга пожара.

Основная функция подготовки условий для обнаружения лесного пожара связана с эффективным и рациональным своевременным исследованием системы дорог, лесного ландшафта, географического расположения населенных пунктов, погодных условий и т.д. Это направление достаточно обширно в решаемых задачах, однако в данной статье ограничимся, главным образом, подробным описанием мониторинга, который выполняется с использованием методов на основе БПЛА.

Современные подходы обнаружения и мониторинга лесных пожаров можно разбить на группы: а) наземные системы (датчики, установленные на вышках, пешеходные); б) пилотируемые воздушные системы на базе транспортных средств; в) системы на основе спутников; г) системы на базе БПЛА. Кратко коснемся ограничений подходов, которые могут быть использованы в системах обнаружения и мониторинга лесных пожаров. Наземные измерения ограни-

чены пространственным диапазоном и не подходят для очень больших территорий. Пилотируемые летательные аппараты (самолеты, вертолеты) дорогие в эксплуатации, не могут быть использованы для регулярного мониторинга.

Измерительные приборы, установленные на спутниковых аппаратах, (например, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer [4]), VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite [5]), способны обнаруживать лесные пожары [6, 7] в любой точке мира, получая изображения несколько раз в день. Однако пространственное разрешение этих приборов достаточно низкое: 250–500 м на пиксель, а это означает, что пожары могут быть обнаружены, если их размер превышает половину пикселя.

Существуют спутники с более высоким пространственным разрешением (3–30 м), пролетающие над одной и той же точкой с периодичностью в несколько дней, что не подходит для задач мониторинга пожаров. Кроме того, наличие облачности или густого дыма затрудняет детектирование лесных пожаров. Спутниковые системы с их нерегулярным временным и пространственным разрешением не могут быть в итоге применены для мониторинга обстановки, необходимой для тушения лесных пожаров. Тем не менее в России создана информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (блок мониторинга пожарной опасности [8]), которая позволяет получать определенную географическую и статистическую информацию о пожарах на территории России. Однако от времени получения информации со спутника до ее отражения в программной системе проходит задержка, что не позволяет ее использовать для оперативной работы.

БПЛА с системами дистанционного зондирования на основе компьютерного зрения становится все более реалистичным вариантом, обеспечивающим быстрый, мобильный и недорогой способ обнаружения и мониторинга лесных пожаров. Именно использование БПЛА является перспективным решением для мониторинга больших площадей лесов, позволяющим захватить изображения с высоким пространственным разрешением и их трансляцией в командный центр на земле.

Во время тушения пожара БПЛА могут предоставлять для анализа качественную визуальную информацию о месте пожара даже при слабом освещении и сильном задымлении. Однако время облета БПЛА некоторой территории является достаточно большим (несколько часов), несмотря на высокую скорость ввиду ограниченных ресурсов для полета, что требует усидчивости и внимательности операторов. Во время бедствий, таких как лесные пожары, оператору важно определить пространственные области, где интенсивность или масштабы бедствия наибольшие. Прежде всего, это: а) определение мест, где интенсивность огня является наибольшей, б) направление распространения огня, в) область задымления и другие факторы, которые имеют решающее значение для локализации контура пожара.

Одними из развитых подходов оценки ситуации, связанной с лесными пожарами, являются визуальные системы, когда на БПЛА ставится цифровая камера, изображения которой транслируются на командный пункт. Однако есть проблемы с визуализацией изучаемой оператором территории, связанные с неравномерностью освещения (время дня, направление полета БПЛА относительно положения солнца и т.д.), низкой скоростью передачи изображений (задержки), а также низким качеством (скорость передачи зависит от качества изображения или числа пикселей по сторонам изображения  $\{N_x, N_y\}$ ) и контрастом снятых изображений.

Использование алгоритмов обнаружения пожара и дыма на основе методов компьютерного зрения, предложенных в работе [9], привело к тому, что стало фиксироваться большее количество пожаров. При этом разработанные подходы (VFD – Video-based fire detection) можно использовать для обнаружения присутствия огня и дыма на ранней стадии, когда их площадь небольшая (как по территории, так и видимой части на изображении в пикселях). Большинство используемых алгоритмов обработки изображений основано на анализе информации о движении, цвете, энергии в потоке кадров видео [10, 11].

Алгоритмы на основе анализа цвета являются наиболее распространенными на практике и используют цветовое пространство RGB, YUV, HSI или HSV [12, 13].

#### **Система обнаружения пожаров по изображениям, полученным с помощью БПЛА**

Дистанционное зондирование с помощью беспилотных воздушных систем дает множество преимуществ по сравнению с другими видами мониторинга в плане скорости получения информации. Высокая маневренность БПЛА позволяет им исследовать регион по определенному маршруту, широкий спектр датчиков, которые могут быть загружены на борт, позволяет собирать важные данные для анализа ситуации на исследуемой территории. Для решения задач мониторинга существует широкий выбор типов БПЛА, начиная от больших БПЛА с длительным временем полета, массой полезной нагрузки до небольших БПЛА с коротким временем полета и ограниченными возможностями полезной нагрузки [14].

Отметим, что практически все БПЛА имеют в стандартной полезной нагрузке цифровые камеры, используемые для поиска пожаров в виде дыма и/или огня. Кроме того, применяются и инфракрасные датчики яркостной температуры, позволяющие фиксировать положение нагретых тел в пространстве, но они менее популярны. Используемые системы навигации на борту БПЛА позволяют в режиме мониторинга обеспечивать географическую локализацию БПЛА в реальном времени, что позволяет привязывать захваченные камерой изображения и таким образом проводить картографирование пожаров.

Пожары имеют определенные параметры, такие как температура, мерцание, движение, яркость, дым и газовый состав [15]. Эти параметры можно изме-

рить с помощью различных приборов. Визуальные и инфракрасные (ИК) камеры БПЛА чаще всего применяются для сбора большого количества информации о лесном пожаре.

Для лесного пожара температура может превышать  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ , что приводит к пиковому излучению в средневолновом инфракрасном диапазоне (3–5 мкм) [16]. Однако если БПЛА находится вблизи такого пожара, эта температура может быть зафиксирована, а если присутствует дым, ветер не в направлении БПЛА, фиксация пожара тепловыми датчиками осложняется. В этом плане цифровые камеры видимого диапазона спектра являются широко доступными и используются в различных приложениях, в том числе и для поиска пожаров.

Нами предполагается, что одиночные БПЛА, управляемые человеком, являются полезными для мониторинга различных по площади территорий на основе предлагаемой методики. Автоматизация обнаружения и мониторинга пожаров может помочь обеспечить оптимальное по времени обнаружение зоны возгорания.

Предлагаемая методика основана на использовании беспилотного моторного планера (БМПП), который тратит энергию двигателя только на подъем на нужную высоту, после чего переходит в режим планирования, и потом на поддержание полета в воздушном потоке. Схема вариантов мониторинга по такой схеме представлена на рис. 2.

Предлагается для мониторинга применять круговую или эллиптическую траекторию полета БМПП, когда цифровая камера может быть направлена в направлении горизонта под углом  $\beta$  (см. рис. 2, а) или внутрь траектории полета (см. рис. 2, б). В принципе на БПЛА или БМПП может быть установлено одновременно две камеры, которые будут обеспечивать широкий диапазон контролируемой лесной территории в зависимости от высоты полета  $H$ .

Качество обнаружения пожара зависит также и от размера матрицы цифровой камеры ( $W_x, W_y$ ) и угла обзора  $\alpha$ , что для высоты полета БПЛА определяет пространственное разрешение (см/пиксель).

Ширину зоны обзора ( $W_x, W_y$ ) на поверхности для каждого  $i$ -го изображения, возникающего по траектории полета в направлении к поверхности земли (см. рис. 2), можно оценить по формулам

$$\begin{aligned} W_x &= 2 \cdot H \cdot \text{tg}(\alpha/2), \\ W_y &= 2 \cdot H \cdot \text{tg}(\alpha/2), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $H$  – высота полета,  $\alpha$  – поле зрения камеры, ( $W_x, W_y$ ) – количество пикселей изображения по горизонтали и вертикали.

Исходя из геометрических соображений (см. рис. 2), можно оценить среднюю дальность наблюдения территории  $R_c$  как расстояние от центра круговой траектории до центра изображения

$$R_c = H \cdot \text{tg}(\beta). \quad (2)$$

Анализ результатов табл. 1 показывает, что поле зрения камеры при различных наклонах к горизонту может составлять от 0,6 до 6 км. Конечно же, при большом угле наклона камеры реальная площадь

видения будет больше, однако там и чувствительность контроля будет меньше.

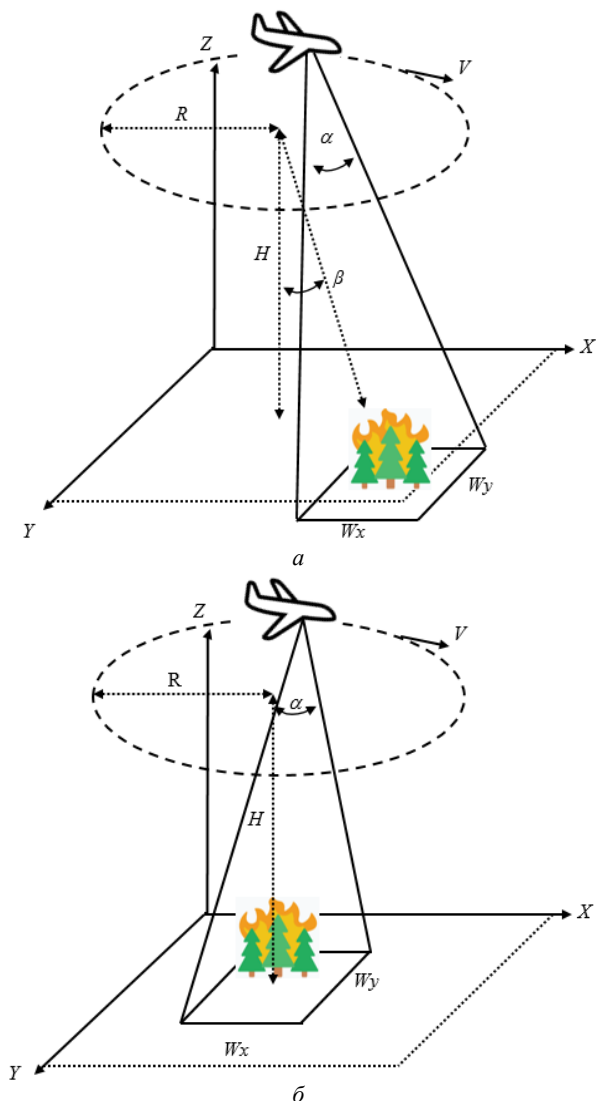


Рис. 2. Схемы использования беспилотного моторного планера для обнаружения пожара: а – направление на горизонт; б – направление к поверхности земли

Можно оценить площадь, которая будет просматриваться при полете БПМПП с данной высоты и угла наклона камеры  $\beta$ . Учитывая формулу площади окружности, можно рассчитать контролируемую изображениями площадь (см. рис. 2). Округляя до целых значения табл. 1, рассчитаем контролируемую площадь с различных высот и различных углов наклона цифровой камеры.

Таблица 1  
Расстояние  $R_c$  (м) для различных углов наклона камеры  $\beta$

$H$ (м) / $\beta$ (град)	50°	60°	70°	80°
500	596	866	1374	2836
750	894	1299	2060	4253
1000	1192	1732	2747	5671

Анализ результатов табл. 2 показывает, что контролируемая площадь беспилотным летательным аппаратом при полете по круговой траектории в течение

нескольких часов может составлять от 20 до 200 км<sup>2</sup>. Эта площадь зависит от угла наклона камеры к горизонту. Зная радиус круговой траектории, можно оценить длину окружности:  $C = 2 \cdot \pi \cdot R$  ( $R$  – радиус круговой траектории) и рассчитать время облета одного круга.

Таблица 2  
Контролируемая площадь  $S$  (км<sup>2</sup>) для различных  $R_c$  (согласно табл. 1) для радиуса  $R$  круговой траектории 3, 5 и 7 км

$R/R_c$ (км)	1	2	3	4
3	21,9	50,2	84,8	125,6
5	34,6	75,4	122,6	175,9
7	47,2	100,6	160,3	226,2

Анализируя результаты табл. 3, можно отметить, что увеличение контролируемой площади введет к росту времени облета БПМПП круговой траектории, т.е. время возвращения в ту же точку может составить от 30 мин при скорости полета 40 км/ч до 2 ч для скорости 20 км/ч. Для радиуса круговой траектории 3 км время меняется от одного часа до 30 мин при различных скоростях, и специалисты могут выбирать соответствующий режим контроля.

Таблица 3  
Время облета (ч) для радиуса  $R$  круговой траектории 3, 5 и 7 км и разной скорости полета БПМПП

$V$ (км/ч) / $R$ (км)	3	5	7
20	0,94	1,57	2,19
30	0,63	1,05	1,47
40	0,47	0,79	1,1

### Методики обнаружения пожара по RGB-изображению

Предлагаемая методика контроля территории лесного массива и обнаружения пожара основывается на получении цветных изображений по траектории полета БПЛА (см. рис. 2). Каждое изображение представляет собой набор трех матриц, соответствующих каналам {R – красный, G – зеленый и B – синий} [13]. Так как траектория полета БПМПП является круговой, то относительно солнца часть изображений будет более темной, чем другие. Поскольку в работе применяются пороговые по яркости алгоритмы поиска дыма и пожара, предварительно каждое изображение приводится к однородному с помощью линейных преобразований:

$$\begin{aligned} Rm(x, y) &= AR \cdot R(x, y) + BR, \\ Gm(x, y) &= AG \cdot G(x, y) + BG, \\ Bm(x, y) &= AB \cdot B(x, y) + BB. \end{aligned}$$

Здесь  $R, G, B$  – яркость каналов каждого пиксела с координатами  $(x, y)$ ,  $AR, BR, AG, BG, AB, BB$  – искомые коэффициенты.

Для всех последующих изображений коэффициенты  $AR, BR, AG, BG, AB, BB$  являются неизменными, что делает их близкими по средней яркости. После коррекции яркости каждая матрица, соответствующая каналам RGB, разбивается на одинаковые блоки размером 10×10 пикселей, каждый из которых анализируется на наличие огня и дыма. Для анализа

применяются пороговые алгоритмы, где пороги определяются экспериментально по гистограммам яркости (рис. 3 и 4) в каждом блоке. Для каждой гистограммы находится максимум гистограммы яркости канала.

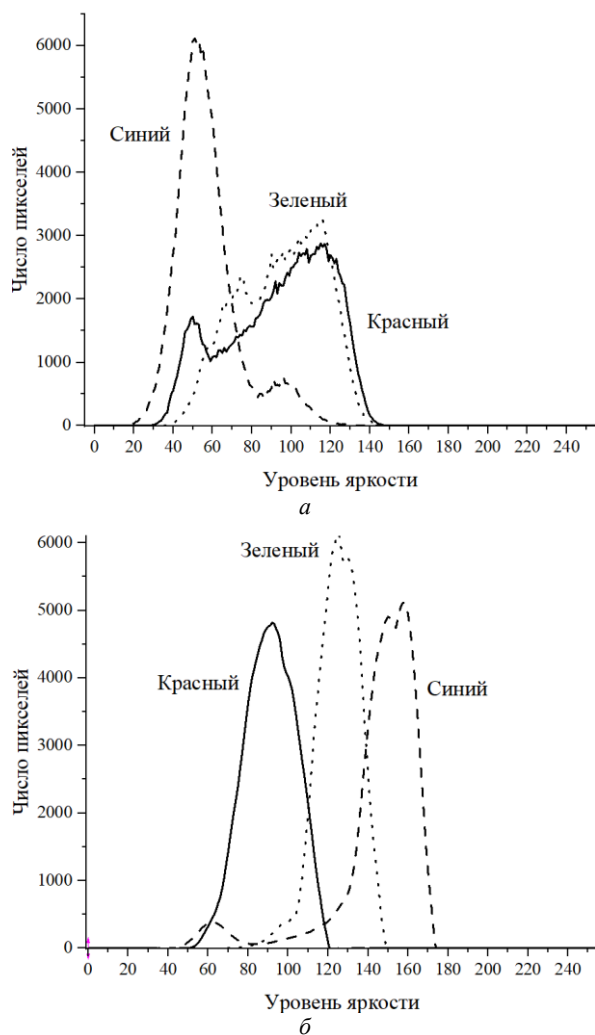


Рис. 3. Гистограммы RGB-каналов изображений, полученных по направлению к поверхности земли, представленных на рис. 1, *a*: *a* – только лес; *б* – лес и дым

Из рисунков видно, что гистограммы яркости только для леса существенно отличаются от гистограмм распределения яркости изображения леса в присутствии дыма. Это позволяет построить надежные критерии выделения участков леса, где присутствует дым. Проведение численных расчетов гистограмм (см. рис. 3 и 4) позволяет определить средние характеристики порогов, которые уже будут применяться на практике обнаружения областей изображений, наиболее подходящих под пожар.

Если такие блоки обнаружены, то по номеру изображения фиксируется направление на пожар и происходит определение его области [17] как номера блока в строке блоков. Дальнейшие действия предпринимает оператор БПЛА, и, они могут быть связаны с изменением маршрута полета или выдачей команды на определенные оперативные действия или др.

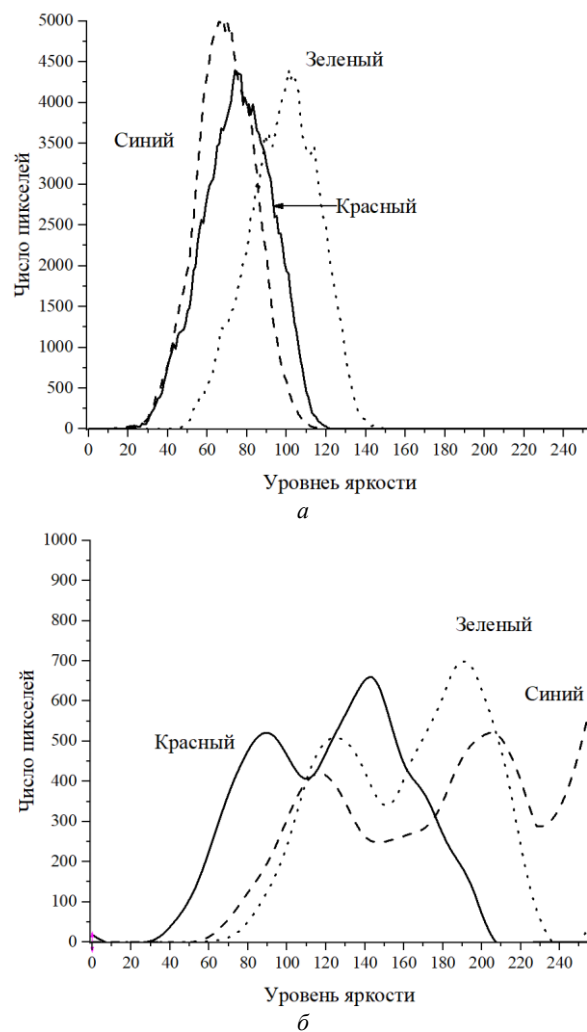


Рис. 4. Гистограммы RGB-каналов изображений, полученных в направлении горизонт, представленных на рис. 1, *б*: *a* – только лес; *б* – лес и дым

Одним из самых распространенных методов обнаружения огня является цветовая RGB-сегментация изображения порогами алгоритмом. Возможно применение и других цветовых пространств, например, YCbCr, HSI, CIELAB, YUV и др. [12, 13]. Алгоритм поиска пожара на изображении основан на последовательном переборе всех блоков изображения, начиная от левого верхнего края изображения. Для каждого блока строятся гистограммы и находятся их максимумы, которые сравниваются с некоторым заранее рассчитанным порогом. Превышение порога говорит о наличии лесного пожара в данном блоке изображения, а все другие значения говорят об отсутствии пожара.

Для обнаружения огня пожара на любом изображении находят значение красного цвета в максимуме гистограммы (см. рис. 4, *б*), и оно должно быть больше по сравнению с зеленым, а значение зеленого больше значений синего канала. Тогда получается правило, которое позволяет идентифицировать часть леса, где присутствует пожар (дым, как минимум), для которого верно  $R > G > B$ . Также компонента  $R$

должна быть больше, чем среднее значение компоненты  $R_{mean}$  для того же блока изображения, что определяет правило  $R > R_{mean}$ . Если использовать цветовое пространство  $YCbCr$ , тогда пиксели считаются пожаром (огнем), если их значения соответствуют тому, что в любом изображении огня значение красного цвета в пикселе больше, чем зеленый, а зеленый больше, чем синий. Поскольку центр области возгорания при высокой температуре имеет белый цвет и для него уменьшается красная и увеличивается синяя компоненты по отношению к другим участкам пламени, это приводит к правилу  $Cb > Y > Cr$ . Другое правило заключается в том, что компонента  $Cr$  меньше стандартного отклонения для того же блока изображения  $\delta$ , умноженного на некоторую постоянную  $k$ , что дает правило  $Cr < k \cdot \delta$ , где  $k$  определяется экспериментальным путем.

Преобразование значений пикселей RGB в цветовое пространство HSV позволяет выделить пиксели огня в виде правила  $0 \leq H \leq 60, 0,2 \leq S \leq 1, 100 \leq V \leq 255$ . Это определяет простой и эффективный алгоритм обнаружения пожара на изображении.

Блок, где присутствуют дым и лес, обнаруживается, если выполняется правило  $B > G > R$ .

Другой подход обнаружения пожара при наличии дыма сочетает в себе канал насыщенности цвета HSV и цвета RGB. Согласно этому подходу, обнаружение пожара связано с выполнением двух правил:

- 1)  $R < G < B$ ;
- 2)  $S \geq ((255 - R) \cdot \text{порог})$ .

Для того чтобы эти правила срабатывали, необходимо, чтобы горизонт, который имеет очень высокую яркость по отношению к поверхности, был предварительно удален с изображения на стадии предварительной обработки. Для реализации этого подхода требуется определение двух пороговых значений порог1 и порог2 (примерные значения порогов найдены в виде диапазонов порог1 = (115–135) и порог2 = (55–65)). Занятые дымом области изображения могут быть найдены из правила в цветовом пространстве YUV:

- 1)  $Y > \text{порог1}$ ;
- 2)  $|U - 128| < \text{порог2}$ ;
- 3)  $|V - 128| < \text{порог3}$ ,

где  $Y, U$  и  $V$  – значения яркости каждого пикселя изображения. Пороговые значения порог1, порог2 и порог3 определяются экспериментально.

#### Заключение

В статье предлагается подход по использованию БПЛА для обнаружения пожаров, позволяющий проводить мониторинг по круговой траектории в течение нескольких часов (4, 5). Основой подхода являются результаты работы [19]. Кроме того, данная статья является развитием, так как предлагаются варианты наблюдения за территорией, один из которых связан с наклоном цифровой камеры по направлению на горизонт, а другой – при наклоне камеры перпендикулярно к поверхности земли. Приведены расчеты возможной обнаруживаемой площади и времени пожара в зависимости от различных условий наблюдения.

Предложены методики обнаружения огня и дыма пожара, основанные на различных цветовых пространствах.

#### Литература

1. Арцыбашев Е.С. Лесные пожары и борьба с ними / Е.С. Арцыбашев. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 152 с.
2. Щербов Б.Л. Лесные пожары и их последствия / Б.Л. Щербов, Е.В. Лазарева, И.С. Журкова. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. – 154 с.
3. Инструкция по авиационной охране лесов. – М.: Федеральная служба лесного хозяйства России. – 94 с.
4. MODIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://modis.gsfc.nasa.gov>, свободный (дата обращения: 13.11.2023).
5. VIIRS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ncc.nesdis.noaa.gov/viirs>, свободный (дата обращения: 13.11.2023).
6. Афонин С.В. Система космомониторинга лесных пожаров на территории Томской области / С.В. Афонин, В.В. Белов // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 14, № 8. – С. 692–696.
7. Ершов Д.В. Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров / Д.В. Ершов, Г.Н. Коровин, Е.А. Лупян, А.А. Мазуров, С.А. Тащилин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2004. – Т. 1, № 1. – С. 47–57.
8. ИСДМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://nffc.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml), свободный (дата обращения: 13.11.2023).
9. Коршунов Н.А. Борьба с лесными пожарами: информационное обеспечение с помощью авиационных средств // Пожарная безопасность. – 2008. – № 1. – С. 125–129.
10. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров / Г.А. Доррер. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 404 с.
11. Ahmad I. A fast adaptive motion estimation algorithm / I. Ahmad, W. Zheng, J. Luo, M. Liou // IEEE Transactions on CSVT. – 2006. – No. 3. – P. 420–438.
12. Bi Z. Color space conversion algorithm and comparison study / Z. Bi, P. Cao // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1976. – P. 012008. DOI:10.1088/1742-6596/1976/1/012008.
13. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
14. Классификация БПЛА и системах интеллектуального управления / С.И. Федоров, А.В. Хаустов, Т.М. Крамаренко, В.С. Долгих // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2016. – № 74. – С. 12–21.
15. Бобков С.А. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / С.А. Бобков, А.В. Бабуринов, П.В. Комраков. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 210 с.
16. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. – Новосибирск: Наука СО, 1977. – 240 с.
17. Васюков В.Н. Алгоритмы анализа изображений для системы раннего обнаружения лесных пожаров / В.Н. Васюков, А.Ю. Зайцева // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2014. – № 4 (25). – С. 57–69.
18. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
19. Kataev M. Yu. Computer vision method for forest fires detection based on RGB images obtained by unmanned motor glider / M. Yu. Kataev, E. Yu. Kartashov // Light & Engineering 2021. – Vol. 29, No. 5(2). – P. 71–78

**Катаев Михаил Юрьевич**

Д-р техн. наук, проф. каф. автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 70-15-36, +7-960-975-27-85  
Эл. почта: kmy@asu.tusur.ru

**Карташов Евгений Юрьевич**

Канд. техн. наук, доцент каф. машин и аппаратов химических и атомных производств Северского технологического института Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» Коммунистический пр-т, 65, г. Северск, Россия, 636036  
Тел.: (382-3) 78-02-40, +7-905-991-66-92  
Эл. почта: kart.62@yandex.ru

**Гейко Павел Пантелеевич**

Д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, проф. каф. оптико-электронных систем и дистанционного зондирования (ОЭСИДЗ) Национального исследовательского Томского государственного университета (НИ ТГУ) Академический пр-т, 10/3, г. Томск, Россия, 634055  
Тел.: +7 (382-2) 41-38-87, +7-905-991-9762  
Эл. почта: ppg11@yandex.ru

Kataev M.Yu., Kartashov E.Yu., Geiko P.P.

**Forest fires detection based on image processing obtained using UAV**

Forest fires represent a serious natural risk causing economic losses, loss of life and significant environmental damage. In different countries of the world, including in Russia, research has been carried out to develop solutions for the detection and subsequent monitoring of forest fires. The most common ones are remote fire detection and monitoring systems, both ground-based (mobile or stationary), airborne (airplanes and helicopters), and satellite-based ones. These systems are highly efficient in data collection and fire detection, but for small areas. However, wildfires can cover large areas, making known approaches unsuitable for optimal spatial coverage. To overcome this limitation, unmanned aerial vehicles (UAVs) are proposed, that have proven to be useful due to their maneuverability, allowing the implementation of remote information acquisition in any direction, the flight route planning strategies, etc. Ultimately, they provide a low-cost alternative to established approaches for real-time detection and monitoring of wildfire areas. This article discusses a technique for early detection of forest fires based on UAV image processing, which is based on the previous works of the authors. The technique involves the use of computer vision algorithms for processing images received from an unmanned motor glider (UMG). The UMG route (for example, circular or elliptical) can be designed in such a way that it is possible to regularly receive information about a large area. The flight time of the UMG can be up to several hours. When transmitting the received images to the processing center, it becomes possible to extract information about the detection of a forest fire and subsequently control its spread.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, forest fires, image, processing technique.

**DOI:** 10.21293/1818-0442-2023-26-3-72-79

**References**

1. Artsybashev E.S. *Forest fires and fighting them*. Moscow, Timber Industry, 1974, 152 p. (in Russ.).
2. Shcherbov B.L., Lazareva E.V., Zhurkova I.S. *Forest fires and their consequences*. Novosibirsk, Academic Publishing House «Geo», 2015. 154 p. (in Russ.).
3. *Instructions for aviation protection of forests*. Moscow, Federal Forestry Service of Russia, 2015. 94 p. (in Russ.).
4. MODIS Available at: <https://modis.gsfc.nasa.gov>, free (Accessed: November 13, 2023).
5. VIIRS Available at: <https://ncc.nesdis.noaa.gov/viirs>, free (Accessed: November 13, 2023).
6. Afonin S.V., Belov V.V. Space monitoring system for forest fires in the Tomsk region. *Optics of the Atmosphere and Ocean*. 2001, vol. 14, no. 8, pp. 692–696 (in Russ.).
7. Ershov D.V., Korovin G.N., Lupyay E.A., Mazurov A.A., Tashchilin S.A. Russian system of satellite monitoring of forest fires, *Modern Problems of Remote sensing of the Earth from Space*. 2004, vol. 1, no. 1, pp. 47–57 (in Russ.).
8. ISDM Available at: [https://nffc.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml), free (Accessed: November 13, 2023) (in Russ.).
9. Korshunov N.A. Fighting forest fires: information support using aviation means. *Fire Safety*, 2008, no. 1, pp. 125–129 (in Russ.).
10. Dorrer G.A. *Dynamics of forest fires*. Novosibirsk, Publishing House SB RAS, 2008. 404 p. (in Russ.).
11. Ahmad I., Zheng W., Luo J., Liou M. A fast adaptive motion estimation algorithm. *IEEE Transactions on CSVT*, 2006, no. 3, pp. 420–438.
12. Bi Z., Cao P. Color space conversion algorithm and comparison study. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1976, 012008. DOI:10.1088/1742-6596/1976/1/012008.
13. Shapiro L., Stockman J. *Computer vision*. Moscow, Binom, Knowledge Laboratory, 2006, 752 p. (in Russ.).
14. Fedorov S.I., Khaustov A.V., Kramarenko T.M., Dolgikh V.S. Classification of UAVs and intelligent control systems. *Open Information and Computer Integrated Technologies*, 2016, no. 74, pp. 12–21 (in Russ.).
15. Bobkov S.A., Baburin A.V., Komrakov P.V. *Physico-chemical foundations for the development and extinguishing of fires*. Moscow, Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2014, 210 p. (in Russ.).
16. Konev E.V. *Physical principles of combustion of plant materials*. Novosibirsk. Nauka SO, 1977, 240 p. (in Russ.).
17. Vasyukov V.N., Zaitseva A.Yu. Image analysis algorithms for early detection of forest fires. *Reports of the Academy of Sciences of Higher School of the Russian Federation*, 2014, no. 4 (25), pp. 57–69 (in Russ.).
18. Mandel I.D. *Cluster analysis*. Moscow, Finance and Statistics, 1988, 176 p. (in Russ.).
19. Kataev M.Yu., Kartashov E.Yu. Computer vision method for forest fires detection based on RGB images obtained by unmanned motor glider. *Light & Engineering*. 2021, vol. 29, no. 5(2), pp. 71–78 (in Russ.).

**Mikhail Yu. Kataev**

Doctor of Science in Engineering, Professor, Department of Automated Control Systems (ACS), Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR) 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Phone: +7 (382-2) 70-15-36, +7-960-975-27-85  
Email: kmy@asu.tusur.ru

**Evgeny Yu. Kartashov**

Candidate of Sciences in Engineering, Associate Professor,  
Department of Machines and Devices of Chemical and Nuclear  
Production, Seversk Technological Institute, National Research  
Nuclear University «MEPhI»

65, Kommunistichesky pr., Seversk, Russia, 636036

Phone: +7 (382-3) 78-02-40, +7-905-991-66-92

Email: kart.62@yandex.ru

**Pavel P. Geiko**

Doctor of Science in Physics and Mathematics, Professor,  
Leading researcher, Institute of monitoring climatic and  
ecological systems SB RAS, Department optoelectronic  
systems and remote sensing (OESiRS),

National Research Tomsk State University

10, Akademichesky pr., Tomsk, Russia, 634055

Phone: +7 (382-2) 41-38-87, +7-905-991-97-62

Email: ppg11@yandex.ru