

**ЭЛЕКТРОНИКА**

УДК 630\*43:005.584.1

**ПРИМЕНЕНИЕ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЧС ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛЕСОВ, ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРОВ И ОЦЕНКИ  
ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ**Л.В. КАТКОВСКИЙ<sup>1</sup>, С.Ю. ВОРОБЬЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, ул. Курчатова, 7, Беларусь*

<sup>2</sup>*Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций  
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь  
Минск, ул. Солтыса, 183а, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 20 апреля 2010*

Рассматриваются способы определения пожарной опасности лесов, возможности ее оценки, а также обнаружения пожаров и определения их последствий на основе использования трехканальных спектрональных изображений видимого и ближнего ИК-диапазона и изображения теплового ИК-диапазона, получаемых авиационной системой контроля чрезвычайных ситуаций АСК-ЧС.

*Ключевые слова:* лесной пожар, гарь, мониторинг, средства зондирования, авиационная система контроля.

**Введение**

Лесные пожары могут охватывать значительные площади, особенно в засушливые годы, нанося при этом как прямой материальный ущерб, так и косвенный, а пожары на загрязненных радионуклидами территориях становятся причиной миграции радионуклидов и вторичного загрязнения территорий, что порождает проблемы глобального характера.

Раннее обнаружение лесных пожаров, установление факта и места возникновения очагов возгорания является важнейшим условием оперативности их ликвидации. Для контроля состояния лесов, с точки зрения обнаружения пожаров на ранней стадии их развития, наряду с широко известными наземными системами наблюдения (визуальными, телевизионными и т.п.) и авиационным патрулированием все большее практическое применение находят системы спутникового мониторинга [1–3]. Главной тенденцией в решении задачи пожарной охраны лесов является обеспечение автоматизированного оперативного контроля с возможностью прогнозирования пожаров в лесных массивах.

Мониторинг лесных территорий на основе геоинформационных систем (ГИС) используется в ряде стран для информационной поддержки принятия решений в системе охраны леса и ликвидации лесных пожаров, оценки и прогноза пожарной опасности в лесах, снижения наносимого ущерба, накопления новых данных о процессах возникновения и развития лесных пожаров, их влияния на структуру и динамику лесного фонда, обеспечения пользователям доступа к информации о лесных пожарах и их воздействии на лесные экосистемы. Источниками информации для решения таких задач в большей степени являются пока еще наземные и авиационные службы охраны лесов и в меньшей степени — космические средства дистанционного зондирования.

Наиболее широко используемые спутниковые системы мониторинга лесных пожаров — это сканирующий радиометр AVHRR (пять спектральных каналов), размещенный на спутниках NOAA (США), и спектрорадиометр изображения MODIS [4], размещенный на спутниках Terra (EOS AM) и Aqua (EOS PM). Характеристики спутниковой группировки NOAA и оптоэлектронных приборов, созданных для решения метеорологических задач, оказались отчасти приемлемыми для использования их в системах спутникового мониторинга лесных пожаров. Тип орбиты (полярная), большая ширина полосы обзора (почти 3000 км), количество находящихся на орбите спутников (до пяти одновременно), наличие в приборе AVHRR спектрального канала 3,75 мкм, а также каналов в видимой и тепловой ИК-области спектра позволяют контролировать почти каждую точку поверхности земного шара с периодичностью 10 раз и более в сутки. Недостатком съемки радиометром AVHRR для обнаружения пожаров является недостаточное пространственное разрешение, равное примерно 1 км.

Более приспособленный для мониторинга пожаров спектрорадиометр MODIS, который имеет для этого специально оптимизированные каналы.

Учитывая, что время обнаружения и передачи информации выступает критическим параметром для успешной борьбы с пожарами, в новом Греческом проекте SITHON система датчиков дистанционного наземного и авиационного зондирования применяется для локализации, уведомления и последующего мониторинга активных лесных пожаров [5]. Полная система SITHON включает беспроводную сеть расположенных на местности оптических камер и авиационную систему обнаружения пожаров, основным прибором которой является цифровой тепловизионный сенсор изображения. Сеть датчиков соединена с интегрированной средой ГИС. Самолет CESSNA 310Q с установленной авиационной системой обнаружения пожаров SITHON снабжен гироплатформой GSM300, на которой смонтирована легкая высокопроизводительная тепловизионная неохлаждаемая камера переднего обзора R 570 компании AGEMA. Авиационная система SITHON — близкий аналог авиационной системы контроля обстановки в зоне чрезвычайных ситуаций и последствий от них АСК-ЧС [6], которая в настоящее время эксплуатируется на борту самолета АН-2 Гомельским инженерным институтом МЧС РБ. АСК-ЧС предназначена для реализации технологий дистанционной диагностики объектов на основе съемки земной поверхности с высот от 100 до 3000 м.

Оптическая аппаратура АСК-ЧС включает модуль зональной съемки, предназначенный для съемки в 3 узких адаптивно выбираемых спектральных каналах видимого диапазона и в стандартных RGB-каналах с высоким пространственным разрешением, а также модуль инфракрасной съемки для регистрации изображений в диапазоне длин волн 7,5–13 мкм.

Для решения задач по ликвидации ЧС необходимо знать точное местонахождение летательного аппарата с привязкой к координатам карты, что решается в АСК-ЧС использованием GPS-приемника. Сравнительные характеристики АСК-ЧС и системы SITHON приводятся в табл. 1.

Таким образом, модули ИК-съемки систем SITHON и АСК-ЧС имеют очень близкие характеристики, однако благодаря наличию модулей зональной и обзорной съемки, набор данных системы АСК-ЧС позволяет, кроме того, выполнять оценку пожарной опасности лесов.

### **Оценки загораемости лесов**

Пожарная опасность в лесу по условиям погоды определяет угрозу возникновения и особенности развития лесных пожаров, а также оперативность применения средств их предупреждения, обнаружения и ликвидации.

Для объективной оценки влияния погодных условий на возникновение пожаров на лесных территориях производят комплексный учет основных метеорологических факторов, данные о которых дают представление о состоянии пожарной опасности в лесу на текущий день и позволяют сделать ее краткосрочный прогноз. Система определения опасности загораемости лесов должна учитывать роль погодных условий как в пространстве, так и во времени, отличаться оперативностью, точностью оценки и удобством практического применения.

Таблица 1. Характеристики АСК-ЧС и системы SITHON

Параметр	АСК-ЧС	SITHON
<i>Модуль зональной съемки</i>		
Рабочий спектральный диапазон, нм	350–800	отсутствует
Число спектральных зон одновременной съемки	3	
Число сменных кассет	4	
Спектральная ширина зоны съемки, нм	20±50	
Фокусное расстояние объектива, мм	35	
Число элементов изображения, пикселей	3456×2304	
Сенсор изображения, мм	22,2×14,8 КМОП-матрица	
Динамический диапазон яркости, бит	12	
Диапазон выдержек, с	1/4000–1	
Скорость съемки, кадр/с	0,4	
<i>Модуль обзорной съемки</i>		
Число элементов изображения, пикселей	3264×2448	отсутствует
Скорость съемки, кадр/с	0,3	
<i>Модуль инфракрасной съемки</i>		
Диапазон измерения температуры, град С		–20°С to 500°С
Диапазон 1	–40÷+120	до +1500°С, допол-
Диапазон 2	0÷+500	нительная опция
Чувствительность при 30°С, не хуже °С	0,08	< 0,15°С
Погрешность, %	±2°С	±2°С
Спектральный диапазон, мкм	7,5÷13	7,5–13
Тип детектора	неохлаждаемый термоболометр	неохлаждаемый термоболометр
Фокусное расстояние объектива, мм	36	20
Поле зрения (со стандартным объективом)	24×18/0,3 м	24×18/0,5 м
Пространственное разрешение (со стандартным объективом), мрад	1,3	1,3
Размер матрицы, пикселей	320×240	320×240
Размер матрицы, мм	15,3×11,5	8,3×6,3
Частота кадров, Гц	50/60	60
Динамический диапазон, бит	14	
Для монохромного изображения	8/16	12
Для цветного изображения	8	
Размер кадра на земле при скорости полета 160 км/ч и высоте полета 1000 м, м	425×320	416×312
Размер проекции пикселя на землю при высоте полета 1000 м, м	1,3	1,3
Смаз изображения к размеру пикселя при скорости полета 160 км/ч и высоте полета 1000 м, %	56%	57%
Сквозность съемки для 60% перекрытия кадров, с	4,74	3

В настоящее время на территории Республики Беларусь для оценки и прогнозирования пожарной опасности в лесу Гидрометеоцентром используется разработанная Н.А. Диченковым (табл. 2) шкала загораемости лесов, которая позволяет оценить вероятность возникновения возможного пожара под пологом леса и класс пожарной опасности по условиям погоды [2]. Определение класса пожарной опасности (загораемости) лесов по условиям погоды для предприятий лесного хозяйства производится Гидрометеоцентром на основании полученных данных со всех имеющихся в республике метеостанций. Данная информация за последние сутки и краткосрочный (до 3-х дней) прогноз загораемости лесов по областям и районам в виде изолиний классов пожарной опасности наносится на синоптические карты и передается органам лесного хозяйства. Эти данные позволяют лесохозяйственным органам регламентировать работу служб охраны лесов от пожаров, своевременно сосредоточить силы и средства пожаротушения в местах с повышенной опасностью возникновения и распространения пожаров.

В табл. 2 числитель — показатель загораемости ( $\sum_{i=1}^n (100 - W_i)$ ); знаменатель — показатель загораемости ( $\sum_{i=1}^n t_i (t_i - \tau_i)$ );  $t_i$  — радиометрическая температура поверхности, °С,  $W_i$  —

относительная влажность воздуха в 12 ч. в %,  $t_r$  — точка росы в 12 ч, °С,  $n$  — число дней без дождя, включая последний день с дождем.

Таблица 2. Шкала оценки пожарной опасности (загораемости) лесов по условиям погоды (по данным Н.А. Диченкова)

Сумма осадков за последние 10 суток, мм	Классы загораемости				
	I полная незагораемость под пологом леса	II слабая	III средняя	IV высокая	V чрезвычайная
10 (3–14)	менее 30 менее 150	31–150 151–500	151–800 501–4000	801–2000 4001–10000	более 2000 более 10000
20 (15–25)	менее 50 менее 250	51–180 251–600	181–300 601–4100	831–2031 4101–10100	более 2031 более 10100
26 и более	менее 60 менее 350	61–200 351–700	201–850 701–4200	851–2051 4201–10200	более 2051 более 10200

Указанные показатели загораемости учитывают только погодные условия и не принимают во внимание действительную влажность лесных горючих материалов, которая зависит от множества локальных факторов (состава почвы, уровня грунтовых вод, типа и вида подстилающей поверхности и лесного полога, сомкнутости крон деревьев и т.п.)

В лаборатории мониторинга леса Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН предложена методика оценки пожарной опасности, основанная на использовании цифровых изображений со спутников серии NOAA [7]. Технология оперативного создания карт пожарной опасности включает три взаимосвязанных этапа. Первый этап — предварительная обработка данных дистанционного зондирования. Это выбор сцены (района съемки), спектральных каналов, перевод в заданную картографическую проекцию. Следующий шаг — вычисление показателя пожарной опасности методом попиксельного анализа и обработки серии спутниковых изображений. Заключительный этап — создание карт (картосхем), отображающих распределение классов пожарной опасности с использованием ГИС или специализированного ПО обработки изображений.

Сотрудники Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН Е.И. Пономарев и А.И. Сухинин предложили при расчете радиометрического показателя пожарной опасности [8], осуществляемой по методике Г.Н. Нестерова [9], вместо температуры воздуха и точки росы, поставляемых метеостанциями, использовать данные дистанционного зондирования со спутников. Кроме того, вычисленные значения показателя пожарной опасности в каждой точке изображения корректируются с учетом величины выпавших жидких осадков (по данным метеостанций). Также предложено использовать рассчитанное значение вегетационного индекса NDVI для корректирования показателя пожарной опасности, определяемого дистанционными спутниковыми методами. Значение NDVI записывается в уравнение показателя пожарной опасности как сомножитель. Таким образом, показатель пожарной опасности закономерно равен нулю при условии, что наблюдается, например, на водной поверхности, на облачности, в заснеженных районах, существенно снижается в степных районах, где практически отсутствует растительность, и имеет высокие значения для участков изображения с лесными районами, где значение NDVI бывает близко к единице.

### Возможности применения системы АСК-ЧС

В настоящее время общепризнанным является аэрокосмический мониторинг лесов, предназначенный для изучения, оценки и контроля состояния лесов, при котором в качестве источника информации используются изображения в нескольких спектральных каналах видимого, среднего ИК (3–5 мкм) и теплового ИК (7–13 мкм) диапазонов.

Съемки с борта авианосителей имеют неоспоримые преимущества перед космическими съемками, поскольку пользователь определяет наиболее подходящее время и продолжительность съемок, конфигурацию (направление) трасс полетов, необходимые для съемок калибровочные измерения, спектральное/пространственное разрешение, приемлемые погодные условия [10].

Мониторинг и оценка состояния лесных территорий осуществляются путем трассовой или площадной съемки цифровых изображений, затем проводится предварительная обработка изображений и построение площадных мозаик отснятых территорий.

Система АСК-ЧС может с успехом использоваться для обнаружения пожаров [3, 6], обнаружения и оценки гарей, поскольку адаптивный выбор узких спектральных фильтров в видимом диапазоне спектра позволяет хорошо выделять контрастом и цветом такие объекты, как открытое пламя, дым, гарь, а синхронная съемка в тепловом ИК-диапазоне позволяет определять температуру поверхности, в том числе покрытой сплошным дымом, и подсчитывать площадь пожара (или гари).

При решении задачи оценки пожарной опасности лесов с использованием данных АСК-ЧС изображения видимого диапазона позволяют идентифицировать различные типы подстилающих поверхностей — лесных горючих материалов (травяная ветошь, опад хвои сосны, опад листвы березы и т.п.), температура и влагосодержание которых определяют степень пожарной опасности. Температура почвенного покрова определяется по тепловому ИК каналу, оценка влагосодержания осуществляется с использованием изображений всех каналов, а также метеоданных о количестве осадков за предшествующий период. В попиксельных вычислениях используются известные соотношения для комплексного метеорологического показателя пожарной опасности [8, 9].

С точки зрения обнаружения малоразмерных пожаров, также как и определения температуры подстилающей поверхности для оценки горимости лесов, космические системы малоэффективны в сравнении с авиационными.

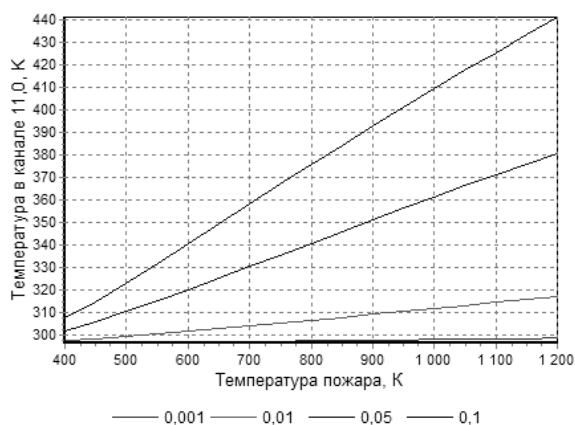


Рис. 1. Зависимость температуры, регистрируемой в тепловом ИК канале, от температуры пожара при различной доле  $p$  заполнения пикселя пожаром, температура поверхности 300К, пропускание атмосферы 0,9

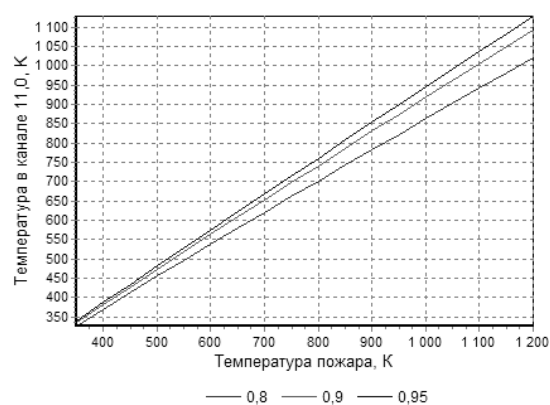


Рис. 2. Зависимость температуры, регистрируемой в тепловом ИК канале, от температуры пожара при  $r=1$  при трех различных пропусканиях атмосферы, температура поверхности 300 К

Это иллюстрируется рис. 1 и 2. Космическому сенсору соответствует малая доля заполнения пикселя пожаром (и соответственно незначительные превышения яркостной температуры над фоном), а для авиационной системы этот параметр равен единице для целой группы пикселей даже для малоразмерного пожара.

Рис. 3 демонстрирует возможность определения влажности растительного покрова с помощью изображений в каналах видимого (а при возможности и до 2,5 мкм) диапазона. На рис. 4 показана яркость свечения поверхности Земли и атмосферы в ИК-диапазоне (в том числе и температура излучения) и спектральные коэффициенты отражения системы почва/деревья (рис. 5). Эти данные используются в качестве дополнительной информации при анализе ИК изображений.

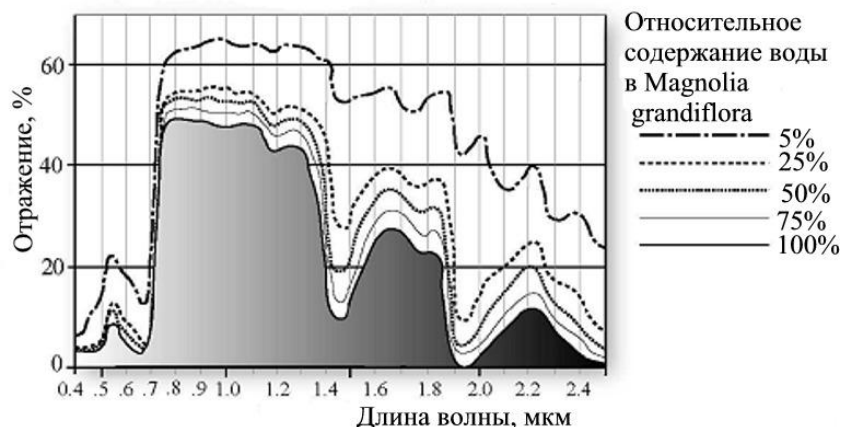


Рис. 3. Спектры отражения листьев в зависимости от содержания воды в них

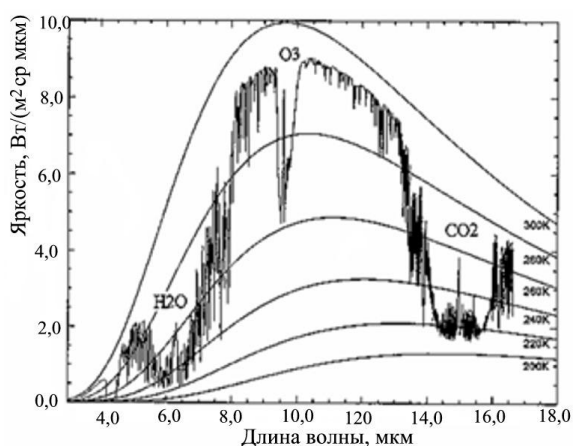


Рис. 4. Спектр излучения поверхности Земли и атмосферы. Видны линии поглощения водяного пара, озона и углекислого газа

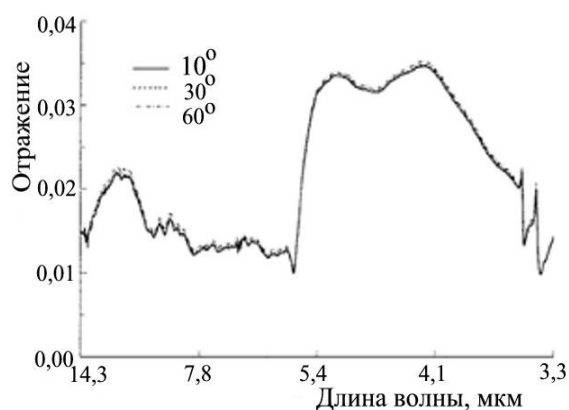


Рис. 5. Спектральные коэффициенты отражения системы почва/дерево в ИК-диапазоне (14,3–3,3 мкм) для трех углов наблюдения

Возможности обнаружения пожара с использованием АСК-ЧС были протестированы на специализированных учениях МЧС летом 2009 г., где имитировался пожар. На рис. 6 показаны отрезки трассы при съемке обзорной камерой АСК-ЧС и тепловизором. Кажущиеся нестыковки кадров на мозаике теплового ИК-изображения объясняются быстрой изменчивостью дымового шлейфа.

Дым на изображениях может распознаваться по своим "серым" спектральным свойствам (рис. 7), тогда как диагностика по температуре дымового шлейфа в дневных условиях возможна только по участкам в непосредственной близости к очагу пожара (эта область отсутствует на ИК-снимке). Как показывает температурный профиль вдоль горизонтальной прямой поперек дымового шлейфа, приведенный на рис. 7, температура дыма на некотором удалении от открытого пламени практически не отличается от температуры окружающих природных фонов ввиду быстрого остывания дыма. Как видно из правой части рис. 7, б она даже может быть меньше, чем радиационная температура прилегающей подстилающей поверхности, вклад в которую дает также отраженное солнечное излучение.

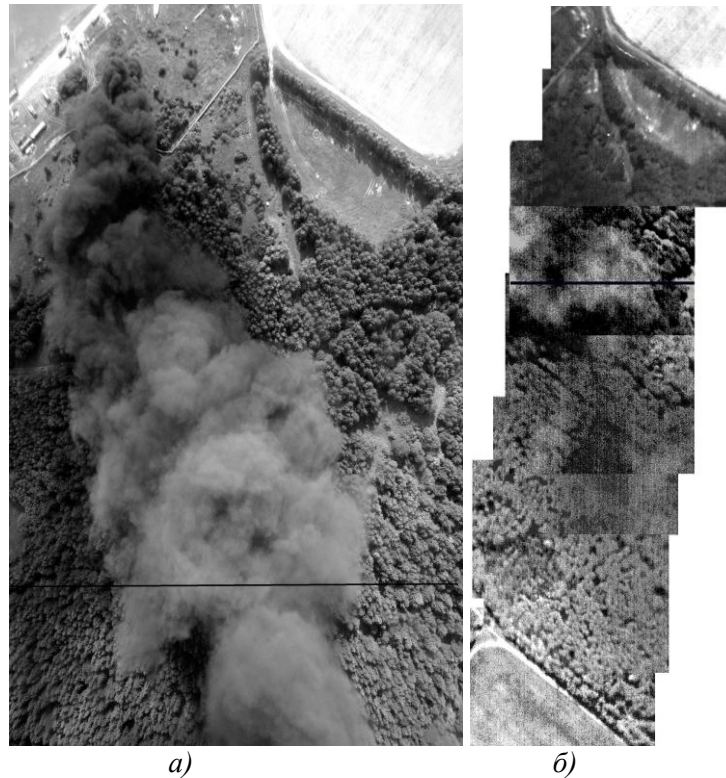


Рис. 6. Съемка пожара АСК-ЧС: обзорная камера (а), тепловизор (б)

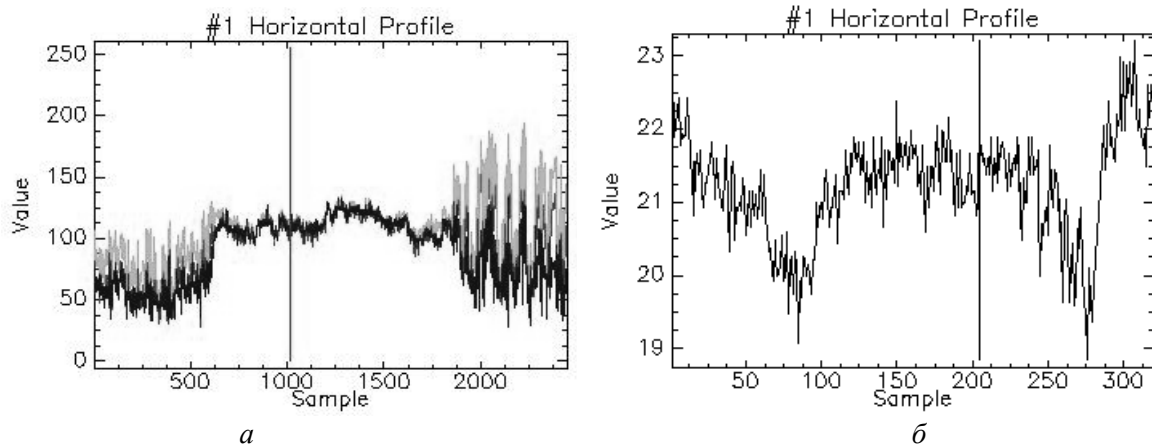


Рис. 7. Пространственные профили: *a* — яркости в каналах *R, G, B* (красная, зеленая и синяя кривые, соответственно) вдоль линии, показанной на рис. 6,*a*; *б* — температуры вдоль линии, показанной на рис. 6,*б*, поперек дымового шлейфа

### Заключение

Дистанционные методы зондирования могут эффективно использоваться для решения задач, связанных с картированием лесов, классификацией лесных пожаров, определением влажности лесного полога и оценкой степени пожарной опасности.

Классифицированные по степени пожарной опасности изображения используются для построения географически привязанных по данным GPS картосхем с отображением классов пожарной опасности. Система АСК-ЧС регистрирует видеoinформацию в каналах видимого и теплового ИК-диапазонов, достаточную для получения оценок степени пожарной опасности лесов, используя измеренные значения температуры и влажности подстилающей поверхности. Более точный прогноз может быть получен путем улучшения классификации лесных территорий с использованием таксационных характеристик типов леса, имеющих в базе данных ГИС "Лесные ресурсы" по лесным территориям Беларуси.

Таким образом, в рамках рассматриваемой проблемы актуальной для Беларуси научно-технической задачей является разработка новых улучшенных методов оценки пожарного состояния лесов, дистанционного обнаружения пожаров и дооснащение авиационной системы контроля АСК-ЧС каналами радиосвязи для оперативной передачи в реальном времени в центры управления МЧС наиболее актуальной информации.

## **APPLICATION OF AIR CONTROL SYSTEM FOR EVALUATION EMERGENCY FOREST FIRE DANGER, FIRE DETECTION AND ESTIMATION OF THEIR EFFECTS**

L.V. KATKOVSKY, S.YU. VOROBYOV

### **Abstract**

We consider how to determine forest fire danger, the possibility of its evaluation using three-channel multispectral images of visible and near-infrared images and thermal infrared derived aviation system to monitor emergency situations ASC-ES, as well as fire detection and determination of their effects.

### **Литература**

1. Бариев Э.Р., Золотой С.А., Котов С.Г. и др. // Совершенствование технических средств повышения оперативности обнаружения природных пожаров. Монография. Минск: РЦСиЭ МЧС РБ, 2009. 174 с.
2. Усеня В.В. // Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2002. 206 с.
3. Катковский Л.В., Воробьев С.Ю. // Докл. БГУИР. 2009. № 2. С. 51–58.
4. Li Z., Kaufman Y.J., Ichoku C. et al. // A Review of AVHRR-based Active Fire Detection Algorithms: Principles, Limitations, and Recommendations. Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a Coordinated International Effort, 2001 SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands. P. 199–225.
5. Kontoes C., Keramitsoglou I., Sifakis N., Konstantinidis P. // Sensors. 2009. № 9. P. 1204–1220.
6. Беляев Б.И., Катковский Л.В., Беляев Ю.В. и др. // Вестник БГУ. 2008. Сер. 1. № 1. С. 25–31.
7. Белов В.В., Афонин С.В. От физических основ, теории и моделирования к тематической обработке спутниковых изображений. Монография. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2005. 256 с.
8. Пономарев Е.И., Сухинин А.И. // Сибир. экологич. журн. 2001, № 5, С. 577–589.
9. Коровин Г.Н., Андреев Н.А. Авиационная охрана лесов. М., 1988.
10. Беляев Б.И., Катковский Л.В. // Оптическое дистанционное зондирование. Минск, 2006.