

УДК 630\*43:005.584.1

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Л.В. КАТКОВСКИЙ<sup>1</sup>, С.Ю. ВОРОБЬЁВ<sup>2</sup>

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

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

*Поступила в редакцию 19 ноября 2008*

На основе анализа различных средств дистанционного обнаружения лесных пожаров сделан вывод о перспективности применения для Беларуси спутниковых и особенно авиационных средств зондирования. Требуется дальнейшее развитие дистанционных методов идентификации пожаров и гарей с использованием каналов видимого и ближнего инфракрасных диапазонов. Наилучшими возможностями из существующих аппаратных средств обладает авиационная система контроля обстановки в зоне чрезвычайных ситуаций АСК-ЧС, имеющая дополнительно тепловой инфракрасный канал и высокое пространственное разрешение.

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

### Введение

Леса являются одним из важнейших национальных богатств Беларуси и наиболее привлекательным видом рекреационных территорий. Лесные экосистемы подвержены многочисленным деструктивным воздействиям, среди которых ведущую роль играют лесные пожары, массовые размножения насекомых-вредителей, вырубки, другие природные и антропогенные факторы. Пожары оказывают доминирующее негативное влияние на состояние и динамику лесных экосистем, наносят государству значительный материальный и экологический ущерб.

Современный уровень охраны лесов от пожаров и проводимый комплекс мероприятий по их противопожарному обустройству не позволяют в полной мере предупредить возникновение и распространение пожаров. На протяжении 1959–2006 гг. в лесном фонде произошло более 128 тыс. пожаров на общей площади около 185 тыс. га. Причиненный пожарами в лесном фонде ежегодный материальный и экологический ущерб составил, в среднем, более 700 тыс. долларов США.

Важной задачей пожарной охраны лесов является обеспечение автоматизированного оперативного контроля с возможностью прогнозирования пожаров в лесных массивах на начальной стадии. Картирование пройденных огнем участков леса не уступает по своей значимости задаче детектирования действующих пожаров. Ее решение позволяет подойти к возможности оценки площадей гарей и горельников, а также причиненного огнем ущерба. Определению и оценке площадей лесонасаждений, пострадавших в результате пожара, посвящены работы [1–4].

Эффективное решение этих задач до сих пор сдерживается как недостаточной научно-методической разработкой проблемы, так и отсутствием технически надежных и экономически

выгодных технических средств. В настоящее время во всем мире для пожарно-охранного мониторинга лесов разрабатываются и используются дистанционно-оптические методы и аппаратные средства аэрокосмического базирования, что позволяет регистрировать и оценивать динамику и последствия пожаров в автоматическом режиме с большой степенью оперативности и детальности, и, следовательно, применять эффективные действия на ранней стадии возникновения и развития пожаров, минимизировать связанные с ними потери и возникновение чрезвычайных ситуаций, а также резко сократить объем наземных полевых работ по оценке послепожарного состояния лесов.

### Теоретический анализ

Можно выделить три вида дистанционных методов и средств обнаружения лесных пожаров: наземные, авиационные и космические. При этом мы не рассматриваем визуальные методы наблюдения с пожарно-наблюдательных вышек. Именно автоматизированные системы наблюдения, оснащенные средствами беспроводной передачи цифровой информации, являются основой создания общей сети получения и передачи в реальном времени данных о пожаре (и других характеристиках окружающей среды) в центры местного, районного и общегосударственного уровней.

Основным преимуществом космического мониторинга является большая площадь охвата земной поверхности. В настоящее время для целей оперативного мониторинга наибольшее применение нашли снимки со спутников серий NOAA (радиометр AVHRR с пространственным разрешением 1100 м и полосой обзора 3 000 км) и EOS (спутники Terra и Aqua с установленными на них радиометрами MODIS с пространственным разрешением 250, 500, 1000 м и полосой обзора 2 330 км). Наличие приемной станции дает возможность безлицензионного (бесплатного) приема снимков с получением данных не реже 6 раз в сутки (спутники серии NOAA) и 4–6 раз в сутки (спутники серии EOS).

Сегодня развитые страны мира для проведения дистанционного мониторинга обладают разнообразными типами летательных аппаратов-носителей аппаратуры: от космических и авиационных, летающих на различных высотах, до автоматических беспилотных.

В Республике Беларусь в ряде ведомств имеются технические средства мониторинга природной среды. Так, в Госкомгидромете действует система наземного экологического мониторинга и система радиационного мониторинга территории Республики Беларусь. Осуществляется прием информации с метеорологического спутника NOAA (США) собственной станцией приема спутниковых данных. Однако низкое пространственное разрешение сканирующего радиометра AVHRR, составляющее в подспутниковой точке 1,21 км<sup>2</sup>, обуславливает сложность использования данного сканера для эффективного решения проблемы раннего обнаружения лесных пожаров. Аналогичная станция для приема информации со спутников NOAA, Terra, Aqua, Метеор-3М есть в НИП "Геоинформационные системы" НИО "Кибернетика" и УП "Белгослес" Минлесхоза Беларуси.

Можно отметить также, что современный аэрофотосъемочный комплекс земной поверхности, а именно камеру RC-30 швейцарской фирмы "Leica" (новое название LH Systems), имеет Белорусское предприятие сельскохозяйственных аэрофотогеодезических изысканий (БелПСХАГИ) Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии. В аэрофотокамере RC-30 используется фотопленка в качестве регистратора изображений, и предназначена она для высокоточных фотограмметрических и картографических работ. БелПСХАГИ проводит аэрофотосъемки с самолета АН-2 ГП "Беллесавиа" в интересах Комитета по земельным ресурсам для определения границ землевладения и землепользования.

Известно также, что Информационная система дистанционного мониторинга (ИСДМ) лесных пожаров Рослесхоза [5–8] успешно использует в качестве исходной информации снимки со спутника Terra (система Modis) среднего разрешения (около 250 м). Разработанная унифицированная система обработки космической информации, предназначенная для картирования лесных пожаров и гарей, регулярно используется в Европейском (НИЦ "Планета", Москва), Западносибирском (Новосибирск) и Дальневосточном (Хабаровск) центрах Росгидромета. Обнаружение и картирование лесных пожаров для всей территории России осуществляется в автоматическом режиме на основе данных AVHRR (NOAA) и MODIS (Terra, Aqua) с использова-

нием стандартной методики горячих точек. Одновременно с этим изображения высокого (38 м) и среднего (250 м) разрешения, получаемые с аппаратуры МСУ-Э (Метеор 3М № 1) MODIS (Terra, Aqua), соответственно, используются для детального интерактивного визуального анализа лесных пожаров, дымов и динамики горения. Ежедневно получаемые обработанные результаты регулярно передаются в Российские пожарные службы. ИСДМ имеет в своем распоряжении авиационные средства (подразделения "Авиалесоохраны") для отработки космической информации и осуществления мер по наблюдению и ликвидации пожаров.

Хотя эта система в условиях Беларуси может оказаться малоэффективной, так как площади пожаров лесов и торфяников в Беларуси не сопоставимы с площадями пожаров в тайге, заслуживает внимания изучение и анализ применения аналогичной системы (космический плюс авиационный уровни) в Беларуси [9].

Все рассмотренные имеющиеся в Беларуси системы не используются напрямую для обнаружения и контроля пожаров и ЧС (в режимах непрерывного или периодического наблюдения), не позволяют оперативно оценивать ситуацию при ЧС и доводить ее до командных и исполнительных инстанций в реальном масштабе времени. Что касается использования космических снимков, то из-за низкой оперативности получения этих снимков и преобладающего наличия облаков над Беларусью речь может идти скорее об оценке последствий пожаров. Следует сказать, что оптические съемочные системы готовящегося к запуску Белорусского космического аппарата (БКА) не имеют в своем составе каналов в среднем ИК (3–5 мкм) и тепловом ИК (8–14 мкм) диапазонах спектра, наиболее эффективно используемых со спутников для обнаружения пожаров.

Наземную систему обнаружения лесных пожаров в Беларуси представляет автоматизированная телевизионная ИК-система обнаружения очагов возгорания [10], разработанная в НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ, и предназначенная для всепогодного непрерывного дистанционного пожарного мониторинга лесных массивов. В основу ее работы положен метод обнаружения лесных пожаров по их собственному тепловому излучению в инфракрасном диапазоне, а именно — в окне прозрачности атмосферы 3–5 мкм. Система автоматизирует процесс обнаружения и пеленгации возгораний, а также может осуществлять дистанционный контроль метеопараметров окружающей среды и радиационного фона ( $\gamma$ -излучения) при использовании соответствующих датчиков. Оптический приемный блок системы сканирует местность по азимуту и углу места. Если в зоне сканирования обнаружено превышение температуры на 2°C по отношению к предыдущему скану в данной точке, и информация подтверждается при следующем скане, то оператору на центральном пункте по радиоканалу поступает сигнал. На экране отображается карта местности с указанием координат. Невысокое пространственное разрешение ИК системы (175 м на расстоянии 10 км) обеспечивает тем не менее обнаружение пожара объемом 6 м<sup>3</sup> на расстоянии 10 км (благодаря большому температурному контрасту). Несколько таких систем установлены в Чернобыльской зоне, Минской области и ряде других мест. Недостатком системы является то, что положение (координаты) пожара определяется как пересечение азимутов засечки, поступивших с нескольких вышек наблюдения (т.е. система пеленгации является не однопунктовой), что сильно удорожает ее развертывание и эксплуатацию. С одной центральной станции система позволяет обслуживать 128 обнаружителей, стоимость одного обнаружителя составляет 12 000 долларов США, центральной станции — 18 000 долларов США, поэтому на данном этапе с масштабным развертыванием и эксплуатацией системы имеют место проблемы экономического характера.

В настоящее время общепризнанным является аэрокосмический мониторинг лесов, предназначенный для изучения, оценки и контроля состояния лесов, при котором в качестве источника информации используются данные дистанционного зондирования (ДЗ) космического и самолетного уровней [11–12]. Аэрокосмический мониторинг лесов обеспечивается развитием способов и средств исследования Земли с помощью методов ДЗ. Это направление начало формироваться в 60-х гг. XX в. в результате появившейся возможности проводить съемки с космических орбит и эффективно использовать ЭВМ для обработки больших объемов цифровой информации. Измерение и анализ физических параметров (в первую очередь спектральных зависимостей) света, излучаемого и отражаемого объектами, составляет основу пассивных дистанционных оптических методов изучения состояния этих объектов.

Авиационные съемки с борта самолета или вертолета имеют неоспоримые преимущества перед космическими, поскольку пользователь сам определяет время (расписание) полетов, конфигурацию обследуемой территории (направление трасс полетов), приемлемые погодные условия. Эти съемки характеризуются более высоким пространственным разрешением, оперативностью, высокой мобильностью при выборе объекта и параметров съемки, отсутствием влияния облаков (подоблачная съемка) и т.п. Наилучшая по точности на сегодняшний день классификация лесных насаждений получена с использованием именно самолетных приборов, таких как AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer) and RDACS-3 (Real-time Data Acquisition Camera System) [13]. В природно-географических, метеорологических и экономических условиях Республики Беларусь авиационный мониторинг лесных пожаров является оптимальным и экономически обоснованным. По имеющейся статистике 60% возгораний в лесах выявляется именно при авиапатрулировании [14]. Более того, даже если возгорание обнаружено по космическому снимку, последующее проведение авиационной разведки (съемки) обязательно, как с точки зрения подтверждения факта наличия пожара (поскольку космическая система дает лишь вероятные очаги возгорания, так называемые "горячие точки"), так и с точки зрения определения дальнейшего развития пожара, его динамики, получения видеоинформации для принятия решений по ликвидации пожара.

В рамках программы "Леса Беларуси" НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ разработал и создал для Комитета лесного хозяйства аппаратно-программный авиационный видеоспектральный комплекс "ВСК-2" оперативного контроля за состоянием лесов. Комплекс может использоваться для съемок лесных территорий с борта вертолета МИ-2, а разработанные методы его применения позволяют: определять породный состав, площади и границы насаждений различных пород деревьев; диагностировать состояние лесных насаждений (усыхание, поражение вредителями и болезнями); вести контроль лесоустроительных работ; определять границы и площади вырубок и ветровалов; обнаруживать действующие лесные пожары и определять их последствия. Информация выдается в виде тематических картосхем, выполненных с использованием геоинформационной системы (ГИС) "Лесные ресурсы".

На рис. 1 и 2 показаны выносной оптический блок ВСК-2, съемка с борта вертолета и некоторые результаты съемок пожаров и гарей.

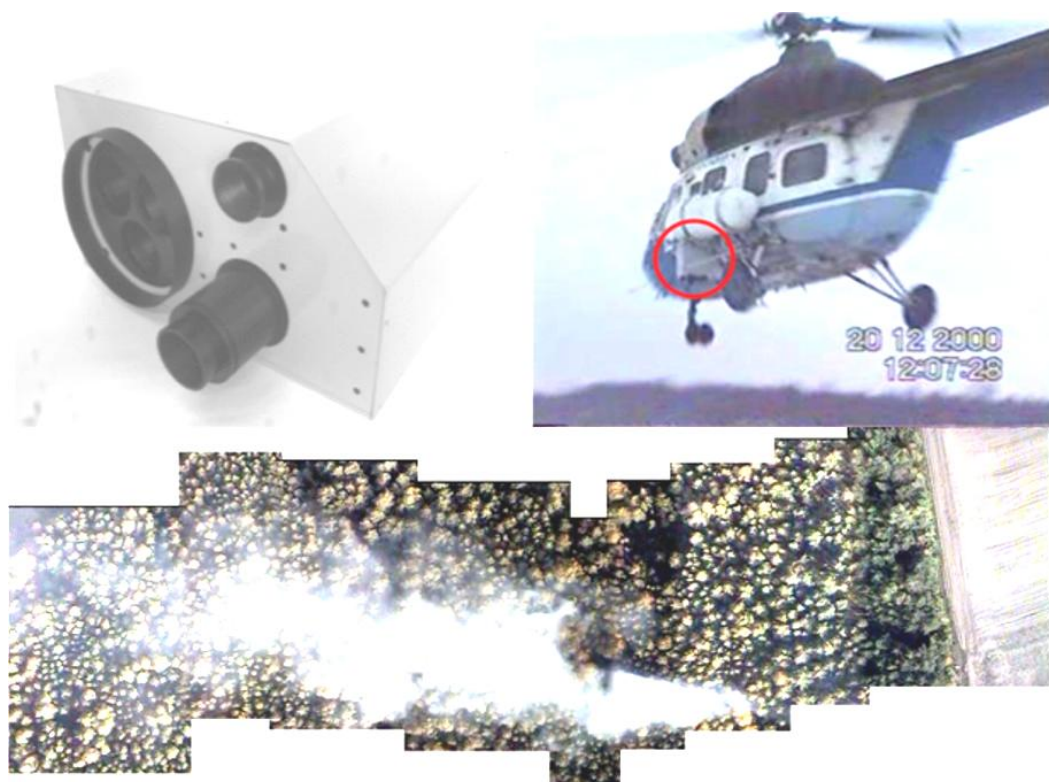


Рис. 1. Выносной блок оптических модулей ВСК-2, установка его на внешней подвеске вертолета и обнаруженный пожар

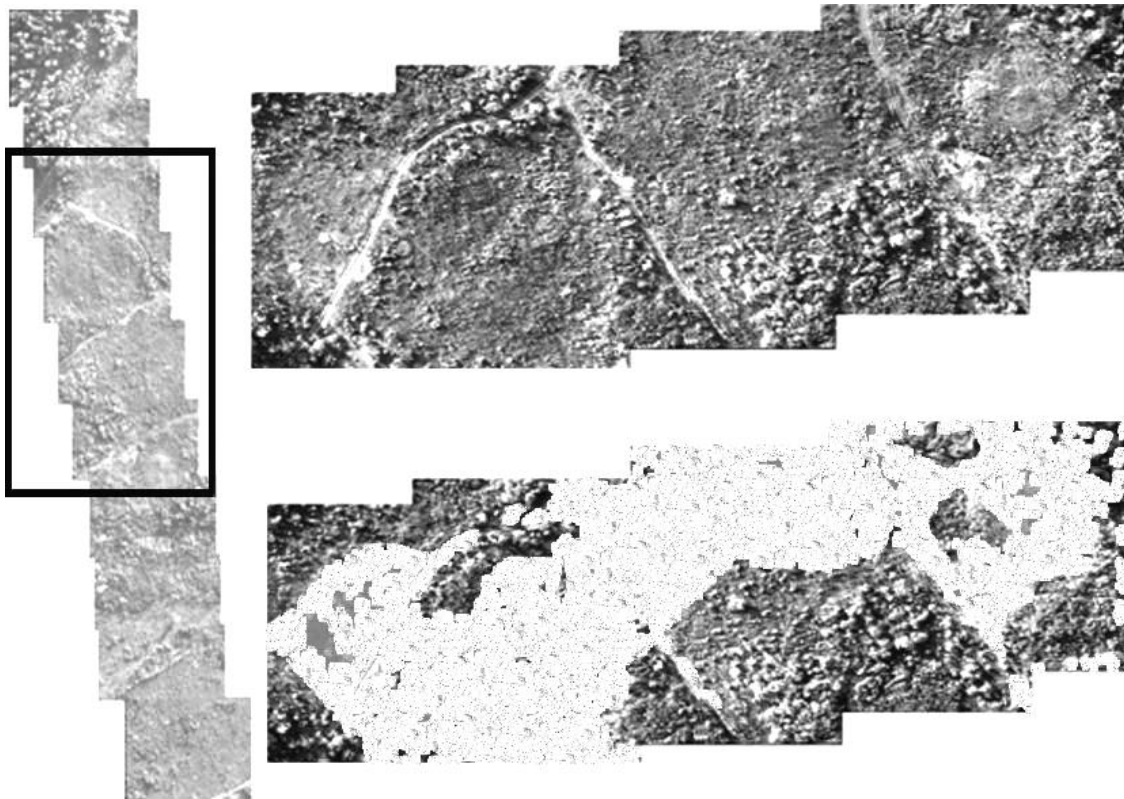


Рис. 2. Столбцовский лесхоз, Кульское лесничество, результат трассовой съемки с помощью ВСК-2, исходное изображение и маска гари (светлая область). Площадь гари: 3,8 га, потери древесины: 244 м<sup>3</sup>

В 2000–2003 гг. ВСК-2 прошел лабораторные и натурные испытания. В процессе последних проводились дистанционные съемки лесных территорий с борта вертолета Ми-2 государственного предприятия "Беллесавиа". Была разработана методика получения данных, их обработки и анализа. С помощью ВСК-2 регистрируются одновременно три спектрально-зональных изображения (узкие спектральные фильтры выбираются под конкретную задачу), обзорное цветное ТВ-изображение и спектр высокого разрешения (1024 канала в области 350–1150 нм) в отдельных точках трассы (4–6 спектров на одно изображение сцены). Величина ущерба от потери древостоя (как в результате пожаров, так и усыхания еловых насаждений), вычисленная с использованием авиационных съемок, более достоверна, чем полученная любыми другими способами (наземным или с использованием космических снимков).

К настоящему времени в Республике Беларусь создана авиация МЧС. В этой связи актуальной задачей для МЧС является создание авиационных аппаратно-программных средств и разработка новых технологий оценки последствий от ЧС. В 2005 г. НИИ ПФП БГУ совместно с ГИИ МЧС РБ (г. Гомель) начал работы по заданию "Разработать, создать и ввести в эксплуатацию авиационную систему контроля за обстановкой в зоне чрезвычайных ситуаций и последствий от них" ГНТП "Защита от чрезвычайных ситуаций". Заказчиком данной работы являлось учреждение "Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций" Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) Республики Беларусь.

В результате этих работ создан опытный образец системы АСК-ЧС и проведены его испытания. В настоящее время авиационная система контроля АСК-ЧС эксплуатируется ГИИ МЧС на борту специализированного самолета АН-2.

Авиационная система контроля за обстановкой в зоне чрезвычайных ситуаций и последствий от них (в дальнейшем АСК-ЧС) предназначена для реализации технологий дистанционной диагностики объектов на основе анализа спектрально-зональных изображений при съемке с авиационных носителей с высот от 100 до 3000 м, определения масштабов и оценки последствий чрезвычайных ситуаций различного уровня.

Основными научно-техническими задачами, решаемыми с помощью АСК-ЧС, в интересах МЧС являются:

- оперативное построение картосхем тепловых полей лесных и торфяных пожаров, а также пожаров на других объектах в условиях сильной задымленности с координатной привязкой очагов горения, определение масштабов пожаров и последствий от них;
- определение масштабов утечек из нефте- и продуктопроводов, оценка их последствий;
- построение картосхем повреждений от ураганов;
- построение картосхем затопленных территорий и оценка последствий от наводнений.

Для решения указанных задач необходимо знать точное местонахождение летательных аппаратов с привязкой к координатам карты, что позволит оперативно направлять в зоны ЧС средства МЧС для ликвидации аварийноопасных ситуаций и техногенных катастроф.

Система АСК-ЧС (рис. 3) состоит из блока оптических датчиков (БОД), предназначенного для записи изображений в видимом и тепловом ИК-диапазонах длин волн; блока обработки информации (БОИ), предназначенного для управления БОД; отображения регистрируемой информации, накопления данных, получаемых с БОД; и специального программного обеспечения (СПО), включающего программы управления всеми модулями и блоками системы и предварительную экспресс-обработку данных на борту носителя в ходе полета. Погрешность определения площади объекта по изображению АСК-ЧС составляет 0,5–0,7%.



Рис. 3. Внешний вид блоков и модулей АСК-ЧС: 1 — модуль зональной съемки; 2 — сменная кассета со светофильтрами; 3 — модуль координатной привязки (GPS); 4 — бортовой компьютер; 5 — модуль накопления видеоданных; 6 — модуль трассовой съемки; 7 — монитор пилота; 8 — модуль питания и коммутации; 9 — модуль инфракрасной съемки

На рис. 4, 5 приведены примеры съемок системой АСК-ЧС в видимом и тепловом ИК-диапазонах соответственно.

Определенным недостатком АСК-ЧС является отсутствие возможности передачи данных с борта авианосителя на наземные пункты приема (центры оперативного управления РЦУРЧС, областные УМЧС МЧС Беларуси) в реальном режиме времени. Одним из вариантов решения этой проблемы может являться программно-аппаратная доработка АСК-ЧС с передачей данных по радиоканалу.

Наряду с перечисленными выше задачами система АСК-ЧС наилучшим образом подходит для обнаружения пожаров и 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 сразу же подсчитывать площадь пожара (или гари).





Рис. 4. Поселок Сосновый бор (Гомельская область), съемка АСК-ЧС с высоты 1000 м

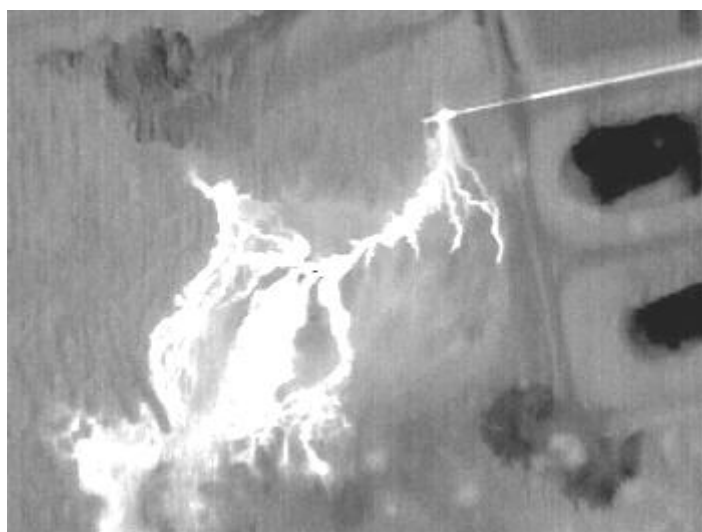


Рис. 5. ИК-изображение АСК-ЧС, сброс технической воды в реку (Светлогорск)

### **Заключение**

Таким образом, в рамках рассматриваемой проблемы можно сформулировать следующие актуальные для Беларуси научно-технические задачи:

- разработка новых эффективных методов дистанционного обнаружения пожаров с использованием каналов видимого и ближнего ИК-диапазонов для обработки данных Белорусского космического аппарата ВСК-2 и других систем оптического диапазона;
- разработка методов дистанционного обнаружения пожаров с использованием каналов видимого, ближнего и теплового ИК-диапазонов для АСК-ЧС;
- разработка и дооснащение авиационных систем зондирования каналами радиосвязи;
- разработка беспилотных летательных аппаратов и систем дистанционного обнаружения пожаров и ЧС для установки на них.

# TECHNIQUES AND TOOLS FOR FOREST FIRES REMOTE MONITORING

L.V. KATKOVSKY, S.YU. VOROBYOV

## Abstract

Ground-based, air-based and space-based technical means and techniques of automated remote detection of forest fires are considered in the paper. The advantages and disadvantages of these means have been analyzed in the view of their application in Belarus. The description of design and demonstration of resources of application have been done for airborne hardware-software video-spectral complex for forest monitoring and the airborne system for situation control at emergency area.

## Литература

1. *Kasischke E.S., Christensen N.L., Jr., Stocks B.J.* // *Ecol. Appl.* 1995. № 5. P. 437–451.
2. *Kasischke E.S. et al.* // *IGARSS'94: In Proc. of the Int. Geosci. and Remote Sens. Symp.* / T.I. Stein, editor. IEEE Inc. Pasadena, CA, 1994. P. 147–150.
3. *Arino O., Rosaz J.M.* // *Remote Sensing and Forest Monitoring: Proc. of Int. Conf. Rogow, Poland.* June 1–3, 1999 [Electronic resource]. Poland, 1999. — Mode of access: <http://rogow99.sggw.waw.pl>. — Date of access: 08.11.2000.
4. *Dozier J.* // *Remote Sens. of Environ.* 1981. Vol. 11. P. 221–229.
5. *Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Лупян Е.А. и др.* // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений.* Сб. научн. статей, М., 2004. С. 47–57.
6. *Беляев А.И., Коровин Г.Н., Лупян Е.А.* // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов).* Сб. научн. статей. М., 2005. Т. 1. С. 20–29
7. *Галлеев А.А., Прошин А.А., Ершов Д.В. и др.* // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов).* Сб. научн. статей. М., 2005. Т. 2. С. 367–371.
8. *Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А., Уваров И.А.* // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов).* Сб. научн. статей. М., 2005. Т. 2. С. 354–366.
9. *Лупян Е.А., Катковский Л.В., Лялько В.И. и др.* // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Тезисы докладов 2-й Открытой всероссийской конф. 16–18 ноября 2004 г. Москва, 2004*
10. *Int. forest fire news.* UN economic commission for Europe. № 23, December 2000. P. 92–95.
11. *Viereck L.A.* // *The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems* / Ed. R.W. Wein, D.A. MacLean. NY, 1983. P. 201–220.
12. *Weber M.G., Flannigan M.D.* // *Environ. Rev.* 1997. № 5. P. 145–166.
13. *Беляев Б.И., Катковский Л.В.* *Оптическое дистанционное зондирование.* Минск, 2006.
14. *Муравский С., Мыслейко И.* // *Лесное и охотничье хозяйство.* 2008. № 5. С. 33–34.