

**А. Н. Виноградов, В. В. Егоров, А. П. Калинин,  
А. И. Родионов, И. Д. Родионов, И. П. Родионова**

**СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕНСОРОВ  
РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАСПОЗНАВАЕМОСТИ  
ЗОНДИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

Представлено к печати  
заместителем директора ИКИ РАН  
Р. Р. Назировым

## **The joint use of different spectral bands sensors for the improvement of sensed objects identification**

*A. N. Vinogradov, V. V. Egorov, A. P. Kalinin,  
A. I. Rodionov, I. D. Rodionov, I. P. Rodionova*

The possibilities of joint data processing procedure received in the different bands of optical spectra are investigated. It is shown that the proposed approach is the evolution of multispectral survey. Field study results showed a prospectivity of multisensor survey and joint data processing method for distinction of low contrast image, study of their spatial structure and point radiation sources identification on the base of their spectral signatures.

*Keywords:* videocamera, hyperspectrometer, thermal imager, UV-C sensor, remote sensing, image, morfing, overlay.

## **Совместное использование сенсоров различных спектральных диапазонов для повышения распознаваемости зондируемых объектов**

*А. Н. Виноградов, В. В. Егоров, А. П. Калинин,  
А. И. Родионов, И. Д. Родионов, И. П. Родионова*

Исследуются возможности процедур совместной обработки данных дистанционного зондирования, полученных в различных диапазонах оптического спектра. Отмечается, что предлагаемый подход является развитием метода многоспектральной съёмки. Результаты натуральных экспериментов продемонстрировали перспективность такого подхода для различения слабоконтрастных объектов, изучения их пространственной структуры и идентификации точечных источников излучения по их спектральным сигнатурам.

*Ключевые слова:* видеокамера, гиперспектрометр, тепловизор, УФ-С-сенсор, дистанционное зондирование, изображение, морфинг, совмещение.

## ВВЕДЕНИЕ

Начиная с семидесятых годов прошлого столетия, аэрокосмическая съёмка Земли в оптическом диапазоне волн претерпела значительные изменения. В частности, появились такие эффективные средства дистанционного зондирования как спектрзональная, многоспектральная и гиперспектральная съёмка. Соответственно, были разработаны и адекватные методы обработки, учитывающие спектральные особенности взаимодействия волн различных диапазонов с материалом зондируемых объектов и их морфологическую структуру. Укажем здесь лишь на методы спектрального синтеза, нейросетевые алгоритмы и метод главных компонент.

Вместе с тем все эти методы относились лишь к обработке данных, получаемых одним сенсором. Однако определённый интерес представляет подход, основанный на обработке многоспектральных данных, получаемых различными сенсорами при осуществлении ими одновременной съёмки одной и той же сцены. Очевидно, что сенсоры могут обладать различным пространственным разрешением, разным угловым полем зрения, чувствительностью и т. п.

Такой подход является развитием принципа многоспектрального зондирования, поскольку создание единого прибора, который перекрывал бы весь оптический диапазон от ультрафиолетового (УФ) до дальнего инфракрасного (ИК) и обладал бы высокими значениями пространственного и спектрального разрешения, представляется весьма проблематичным.

В связи с этим целью настоящей работы является демонстрация возможностей многосенсорной съёмки, направленной на повышение эффективности систем технического зрения посредством совместного анализа изображений, полученных в различных диапазонах длин волн. В частности, показывается, что совместный анализ данных различных сенсоров позволяет добиться значительного синергетического эффекта и создать базу для так называемой системы расширенного видения [Vision system..., 2013].

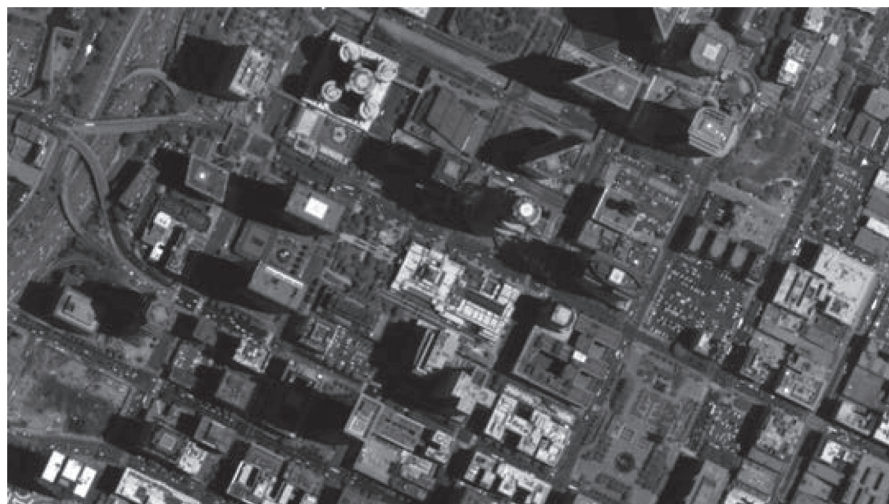
## РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ВЗГЛЯД НА МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОЙ СЪЁМКИ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Первоначально, используемая в аэро- и космической съёмке Земли панхроматическая съёмка, позволяла получать снимки с высоким пространственным разрешением (за счёт более высокой чувствительности чёрно-белой фотоплёнки) (рис. 1), однако она не обеспечивала необходимой различимости объектов, обладавших цветовыми (спектральными) различиями.

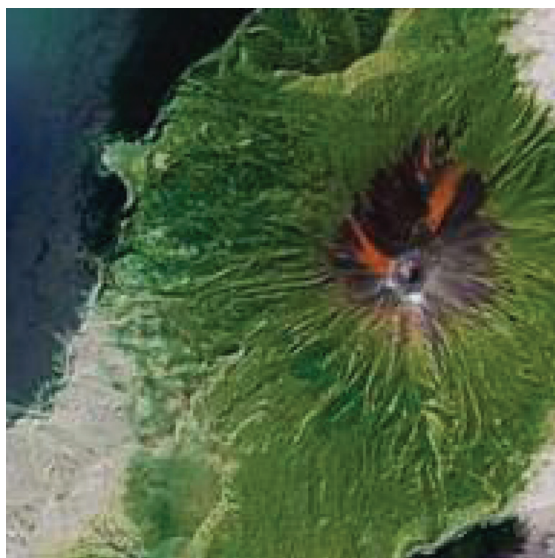
Действительно, при панхроматической съёмке контраст изображения формировался сложением спектральных контрастов в квадратуре (по «мощности») без учёта их фазовых соотношений, поскольку разные спектральные контрасты могли быть даже противоположными и при сложении компенсировать друг друга. Конечно, полной компенсации быть не могло из-за их разных весовых соотношений, но результатом являлось снижение суммарного контраста. Итак, необходима была «развёртка» принимаемого сенсором излучения по длине волны. Первым интуитивным решением этой проблемы стало использование сначала цветной, а затем и спектрально-зональной съёмки, при которых фотоплёнка была сенсibilизирована на различные спектральные зоны. Наконец, был разработан так называемый многозональный метод, при котором использовался фотоаппарат с несколькими объективами, снабжёнными фильтрами с различными полосами спектрального пропускания.

Прошедшее через такой фильтр отражённое от объекта зондирования солнечное излучение попадало на высокочувствительную чёрно-белую плёнку, формируя на ней спектрально-зональное изображение. Полученные затем чёрно-белые негативы (позитивы) с помощью специальных устройств подсвечивались световыми источниками реальными или условными цветами и проецировались на общий экран. При этом имеется возможность в интерактивном режиме проецировать на экран как негативы, так позитивы изображений, чтобы производить синфазное их суммирование, а также придавать каждому из них свой вес. Эта процедура получила название «синтез изображения».

Наиболее известным из таких космических сенсоров стала многозональная космическая камера МКФ-6, успешно прошедшая натурные испытания на космическом корабле «Союз-22». Уже первые эксперименты с многозональными снимками показали их высокую эффективность в части достижения распознаваемости объектов на изображениях (рис. 2).



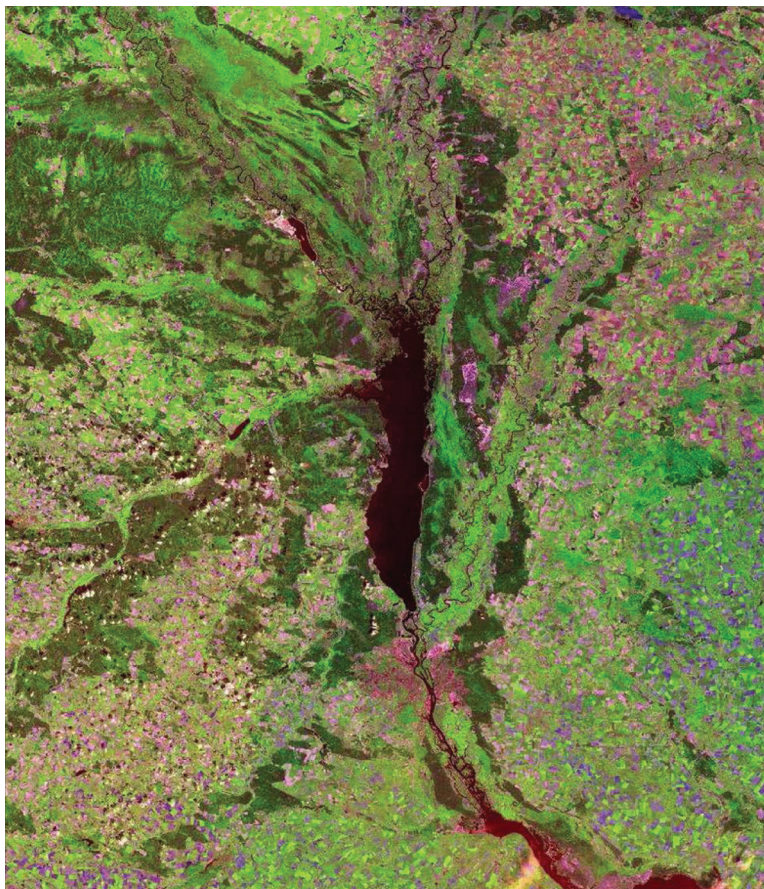
**Рис. 1.** Город Лос-Анжелес (США). Снимок сделан отечественной оптико-электронной аппаратурой с разрешением 1 м с высоты 475 км в панхроматическом диапазоне с космического аппарата «Ресурс-П» в июне 2013 г.



**Рис. 2.** Синтезированный в условных цветах снимок территории алмазного карьера «Мир», полученный камерой МКФ-6

Дальнейшим развитием многозональной съёмки стало появление оптоэлектронных многоспектральных сканеров MSS (Multispectral Scanner System) на искусственных спутниках Земли (ИСЗ) ERTS-1 (Landsat), «Метеор», SPOT и др. (рис. 3).

На спутниках Landsat 4, 5 был установлен сканер TM (Thematic Mapper, тематический картограф). По сравнению с MSS этот сканер имеет улучшенное спектральное и пространственное разрешение и высокую радиометрическую чувствительность.



**Рис. 3.** Синтезированный в условных цветах снимок территории северной Украины, полученный на основе съёмки многоспектральным сканером MSS с ИСЗ ERTS-1 (Landsat) (Earth Resources Technological Satellite)

На спутнике Landsat 7 установлен сканер ETM+ (Enhanced Thematic Mapper, улучшенный тематический картограф). Сканер ETM+ спутника Landsat 7, точно повторяет возможности сканеров TM, кроме того, у этого сканера есть новые особенности: 6-й канал разделен на две части и увеличено его пространственное разрешение; добавлен панхроматический канал, который имеет пространственное разрешение 15 м. Технические характеристики сканеров TM и ETM+ приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные технические характеристики сканеров TM и ETM+

Номер спектрального канала	Спектральные диапазоны [мкм] датчика TM	Спектральные диапазоны [мкм] датчика ETM+	Пространственное разрешение [м]	Радиометрическое разрешение	Зона обзора [км]
1	0,45–0,52	0,45–0,52	30	8 бит (256 уровней)	185×185
2	0,52–0,60	0,53–0,61	30		
3	0,63–0,69	0,63–0,69	30		
4	0,76–0,90	0,78–0,90	30		
5	1,55–1,75	1,55–1,75	30		
6	10,4–12,5	10,4–12,5	TM: 120 ETM+: 60		
7	2,08–2,35	2,09–2,35	30		
Панхроматический	–	0,52–0,90	15		

По мере того, как росло число спектральных каналов сенсоров и совершенствовались методы их обработки, повышалась и информативность получаемых с их помощью данных. В частности, было установлено, что максимальный контраст зондируемых объектов имеет место на изображениях, соответствующих первой главной компоненте исходных многоспектральных данных.

Используемые на борту самолётов и спутников спектрометры, обладавшие до нескольких сотен спектральных каналов (например, «Спектр-256»), обеспечивали лишь трассовую съёмку и не позволяли получать спектральных изображений местности и не могли, поэтому конкурировать с многоспектральными сканерами. Положение кардинально изменилось с появлением бортовых гиперспектральных сенсоров, обеспечивающих получение одновременно несколько сотен спектральных изображений, фиксируемых на фотоприёмную

матрицу. Один из таких гиперспектрометров, разработанных в ЗАО «НПЦ «Реагент» [Родионов и др., 2013], показан на рис. 4. Его основные технические характеристики приведены ниже.

Спектральный диапазон . . . . .	400...1000 нм
Спектральное разрешение . . . . .	1...10 нм
Угловое пространственное разрешение . . . . .	$1 \cdot 10^{-3}$ рад
Число независимых спектральных каналов. . . . .	224
Отношение сигнал/шум . . . . .	более 100

Для демонстрации возможностей этого гиперспектрометра было получено гиперспектральное изображение зоны пожара (рис. 5).

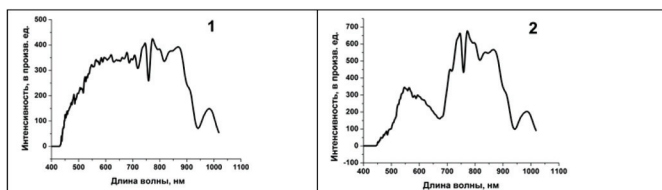
В нижней части рис. 5 показаны спектры излучения, соответствующие выделенным на нём пикселям (точки 1 и 2). Для этих спектров не был проведён учёт поглощения солнечного излучения в атмосфере, поэтому на них чётко прорисовываются наиболее характерные пики, связанные с поглощением солнечного излучения в атмосфере. На спектре 1 хорошо виден пик, в районе 450...700 нм, связанный с хлорофиллом. На рис. 6 приведено изображение, полученное на базе первой главной компоненты этого гиперспектрального снимка. Она интересна тем, что на ней более чётко, чем на RGB-изображении, видны границы объектов за счёт более высокого контраста изображённых объектов.

Таким образом, гиперспектральное изображение, полученное с помощью алгоритма первой главной компоненты, обладает максимально высоким контрастом, достигаемым отдельным сенсором.



Рис. 4. Гиперспектрометр диапазона 0,4...1,0 мкм





**Рис. 5.** RGB-изображение пожара, полученное гиперспектрометром: 1 — участок тронутый пожаром; 2 — участок, нетронутый пожаром (RGB — аддитивная цветовая модель, red, green, blue)



**Рис. 6.** Первая главная компонента гиперспектрального снимка

## МНОГОСЕНСОРНАЯ СЪЁМКА И ЕЁ ВОЗМОЖНОСТИ

Одним из важных направлений по исследованию возможностей многосенсорной съёмки является её апробация в системах расширенного видения. Так, на рис. 7 показан пример системы расширенного видения, предназначенной для нужд авиации и включающей в себя следующие устройства: видеокамеру видимого и ближнего ИК-диапазона, гиперспектрометр, тепловизор и УФ-канал. На этом же рисунке показаны возможные результаты совместной обработки данных, полученных различными сенсорами системы для случая дня и ночи.

Реализация работы системы предусматривала использование таких сенсоров, как монофотонный сенсор «Корона» УФ-С-диапазона (240...280 нм) (рис. 8), цифровая видеокамера видимого и ближнего ИК-диапазона (рис. 9), гиперспектрометр диапазона 0,4...1,0 мкм (см. рис. 4) и тепловизор IR121D диапазона 8...14 мкм (рис. 10). Схема экспериментального стенда, использовавшегося для проведения такой съёмки, показана на рис. 11.



**Рис. 7.** Комплексный анализ изображений в системе расширенного видения, предназначенной для нужд авиации



**Рис. 8.** Ультрафиолетовый сенсор «Корона»



**Рис. 9.** Цифровая видеокамера



**Рис. 10.** Тепловизор

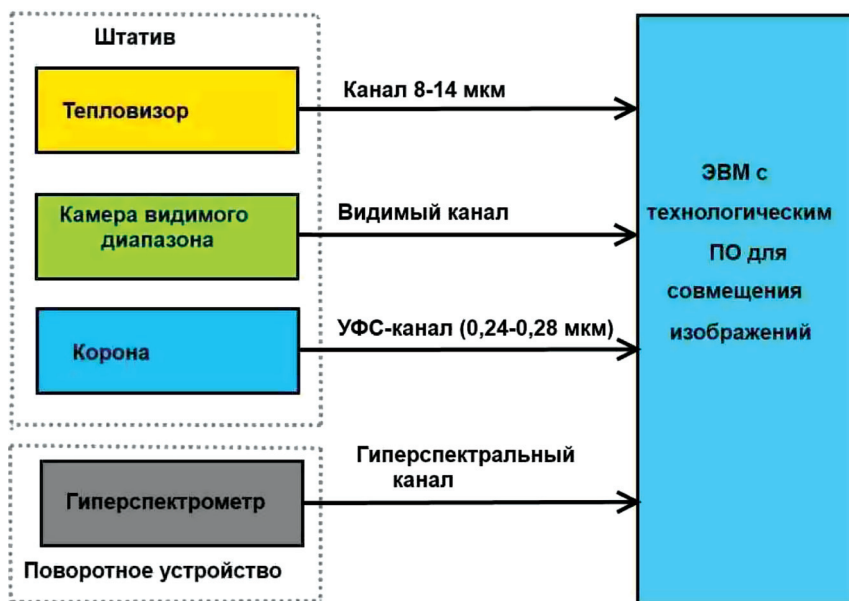


Рис. 11. Схема экспериментального стенда

Многосенсорной экспериментальной съёмке подвергались объёмы городского пейзажа и другие сцены.

Обработка данных, полученных при многосенсорной съёмке, предусматривала комплексирование поставляемой этими сенсорами информации. Совмещение изображений различных сенсоров осуществлялось с помощью алгоритма морфинга [Lee et al., 1994].

В частности, для совмещения двух изображений  $I_1$  и  $I_2$ , на каждое из них наносилась сетка с числом узлов  $m_x m_y$ . Узлы сеток соответствовали одним и тем же точкам (feature points) на двух изображениях, например, — углы зданий, огни освещения и т.д. При таком подходе ячейки сетки представляют собой четырёхугольники. Для отображения ячейки одной сетки в соответствующую ячейку другой сетки используется билинейное преобразование. На рис. 12 изображён переход одного четырёхугольника (ячейки сетки) в другой.

Билинейное преобразование задается формулой:

$$\begin{aligned}
 p &= (1-u)(1-v)A + u(1-v)B + uvC + (1-u)vD, \\
 0 &\leq u, v \leq 1, \\
 p &= (1-u)(1-v)E + u(1-v)F + uvG + (1-u)vH.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

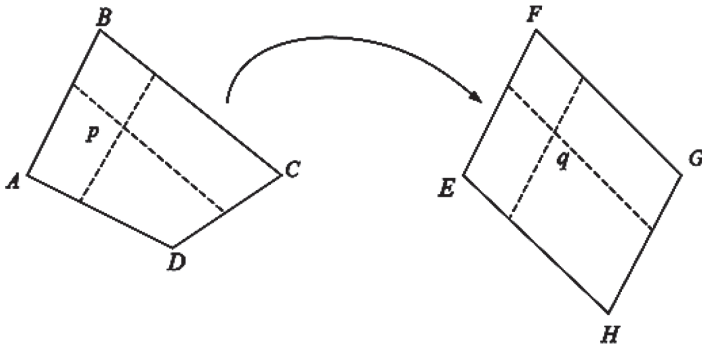


Рис. 12. Морфинг изображения

Здесь подразумевается, что  $A, B, C, D$  и, соответственно  $E, F, G, H$  — это векторы. Для каждой точки  $p$  четырёхугольника  $ABCD$  нужно найти соответствующую пару  $\{u, v\}$ , которая находится из уравнения (1). Уравнение на  $v$  имеет вид:

$$(1-v)\{p_x(B_y - A_y) - p_y(B_x - A_x)\} + v\{p_x(C_y - D_y) - p_y(C_x - D_x)\} + (1-v)^2(B_y - B_x) - v(1-v)(A_x C_y - A_y C_x + D_x B_y - D_y B_x) - v^2(D_x C_y - D_y C_x) = 0. \quad (2)$$

Для краткости перепишем его в виде:

$$a(1-v) + bv - c(1-v)^2 - dv(1-v) - gv^2. \quad (3)$$

Окончательно получится:

$$(d-g-c)v^2 + (b-a-2c-d)v + a-c = 0. \quad (4)$$

Решая уравнение (4) и отбирая нужный корень, далее находим  $u$ . Таким образом, происходит отображение области, заключённой в четырёхугольник  $ABCD$ , в область, заключённую в четырёхугольник  $EFGH$ . Выполнение этой процедуры для всех ячеек сетки приводит к совмещению исходного изображения  $I_1$  с изображением  $I_2$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексный анализ изображений городского пейзажа позволил выявить эффект повышения их контраста по сравнению с контрастом изображений, полученных отдельными сенсорами.

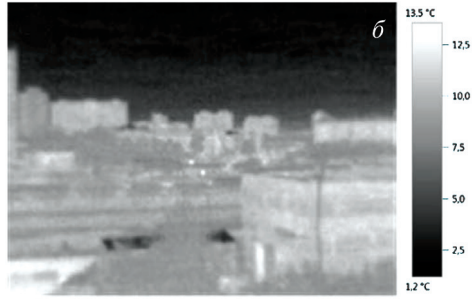
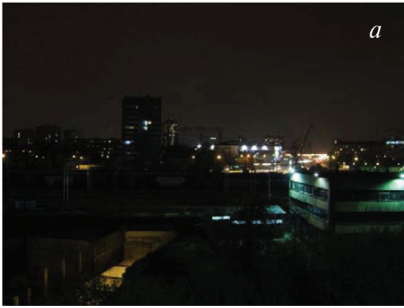
На рис. 13 приведены изображения, полученные видеокамерой (а) и тепловизором (б), а на рис. 13в в показано совмещённое изображение. На рис. 14 приведены изображения, полученные ИК-каналом гиперспектрометра (а) и тепловизором (б), а на рис. 14в — совмещённое изображение. Сравнение рис. 13в и 14в с рисунками с индексами а и б, показало, что совмещённое изображение более информативно, чем снимки, полученные отдельными сенсорами.

Рисунки 15 и 16 демонстрируют возможность совместного использования гиперспектрометра с видеокамерой. Такое совмещение позволяет определять тип конкретного источника излучения. В частности, оно было бы полезно для систем посадки самолётов в сложных погодных условиях (особенно при наличии помех в виде различных источников излучений).

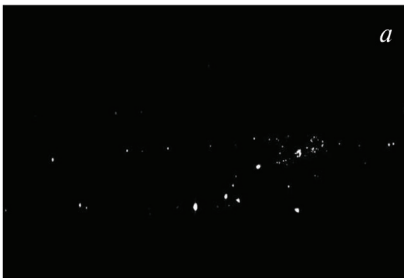
Также была продемонстрирована возможность детализации таких катастрофических явлений как пожар при использовании различных сенсоров: УФ-С прибора «Корона», гиперспектрометра и тепловизора. Так, на рис. 17 и 18 дано видеоизображение местности с пожаром на заднем плане. На переднем плане цифрой 1 обозначен сенсор «Корона».

В этом эксперименте проводилось две съёмки. Первая, когда зона пожара, дым от которого наблюдается в правой части снимка, не попадала в поле зрения УФ-С-сенсора (рис. 17) и вторая, когда этот сенсор был ориентирован в направлении пожара (рис. 18). На рис. 19 приведён экран сенсора «Корона» для эксперимента, показанного на рис. 17, на котором не видно никаких следов от процесса горения, сопровождающегося, как будет показано ниже, интенсивным ультрафиолетовым излучением. На рис. 20 видны несколько локальных УФ-С-очагов пожара и фронта пожара. Таким образом, использование данных видеосъёмки и УФ-С-съёмки даёт возможность осуществления точной географической привязки очага пожара и изучения его структуры. Итак, видеосъёмка даёт общий вид сцены, в то время как УФ-С-изображение позволяет идентифицировать именно очаги пожара внутри дымового шлейфа.

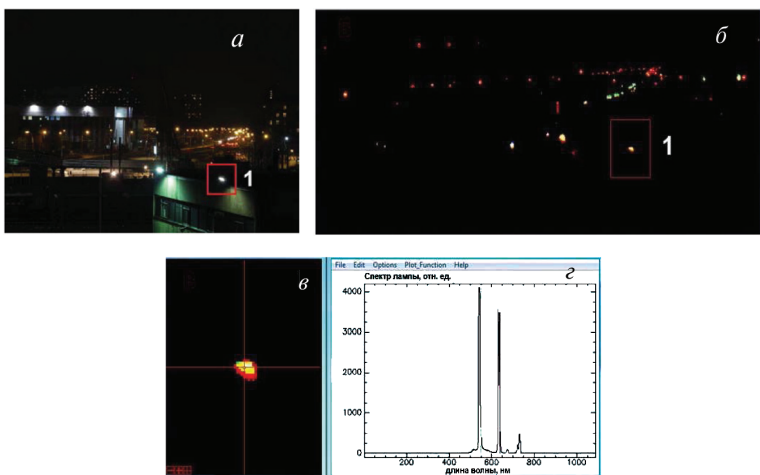
Анализ изображений на рис. 17–20 позволяет заключить, что совместное использование данных видеосъёмки и УФ-С-съёмки даёт возможность осуществления точной географической привязки очагов пожара и изучения его структуры. Кроме того, УФ-С-изображение позволяет выявить несколько локальных очагов пожара и определить его фронт. Итак, видеосъёмка даёт общий вид сцены, в то время как УФ-С-изображение позволяет идентифицировать очаги пожара внутри дымового шлейфа.



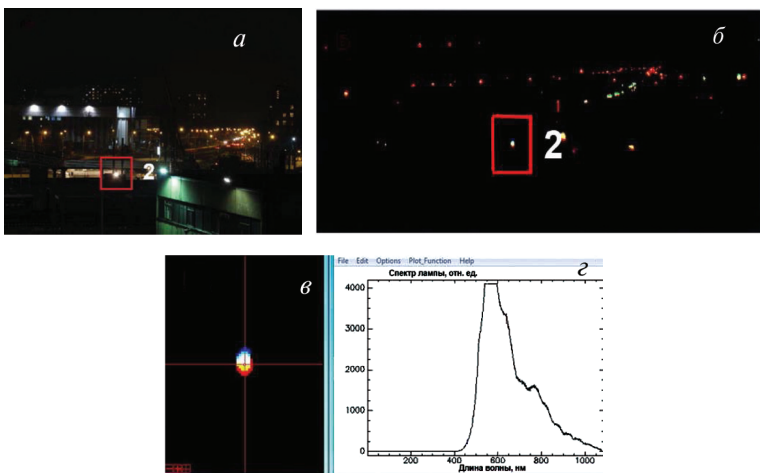
**Рис. 13.** Совмещение изображений, полученных видеокамерой (а) и тепловизором (б). На изображении (в) показан совмещённый снимок



**Рис. 14.** Совмещение изображений, полученных ИК-каналом гиперспектретра (а) и тепловизором (б). На изображении (в) показан совмещённый снимок



**Рис. 15.** Комплексный анализ изображений, полученных видеокамерой (*а*) и гиперспектретром (*б*). На изображении (*в*) показан увеличенный участок (1) гиперспектрального RGB-изображения, а на иллюстрации (*г*) — спектр излучения, выделенного красным квадратом (1), в точке перекрестия на рис. 7*в*



**Рис. 16.** Комплексный анализ изображений, полученных видеокамерой (*а*) и гиперспектретром (*б*). На изображении (*в*) показан увеличенный участок (1) гиперспектрального RGB-изображения, а на иллюстрации (*г*) — спектр излучения, выделенного красным квадратом (1), в точке перекрестия на рис. 8*в*

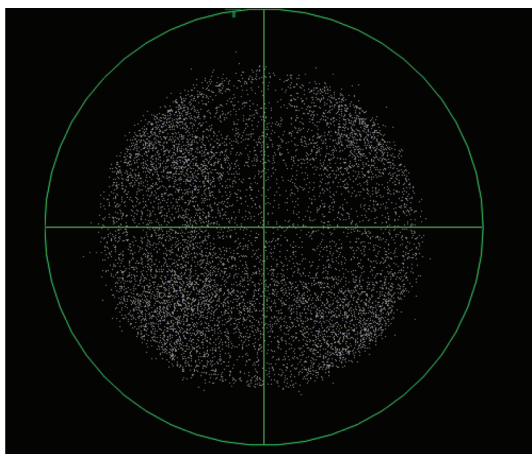




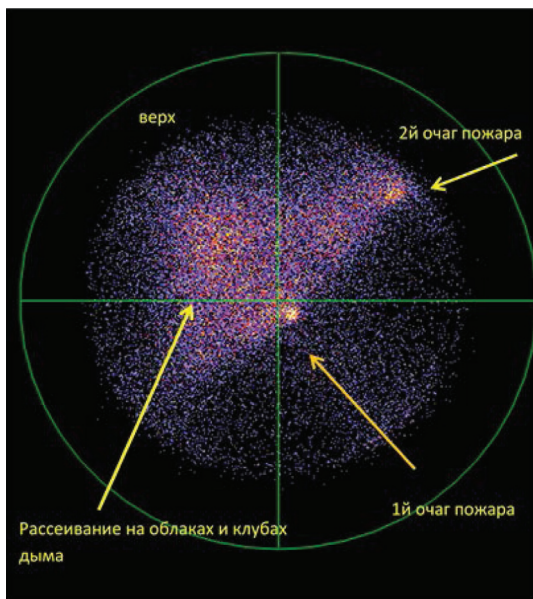
**Рис. 17.** Видеоизображение сцены с пожаром, не попадающим в зону обзора прибора «Корона»



**Рис. 18.** Видеоизображение сцены с пожаром, попадающим в зону обзора прибора «Корона»



**Рис. 19.** Изображение, полученное прибором «Корона», для случая, когда в поле его зрения не попадала зона пожара (см. рис. 17)

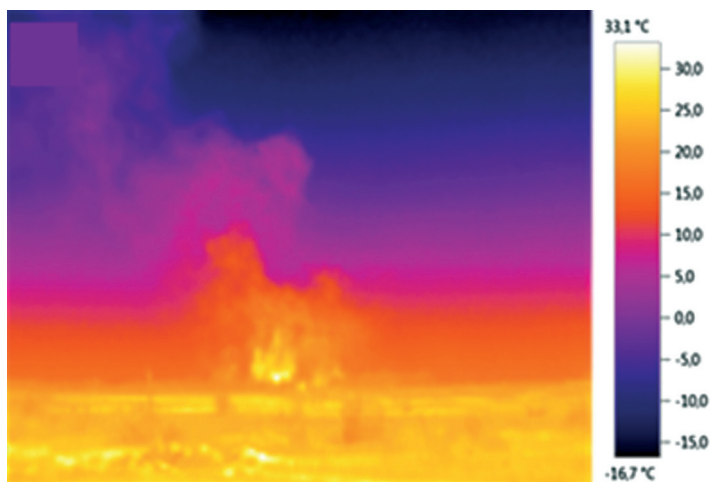


**Рис. 20.** Изображение, полученное прибором «Корона», для случая, когда в поле его зрения попадала зона пожара (см. рис. 18)

Следующим шагом явилось исследование возможностей сочетания видео и тепловой съёмки при зондировании ими одной и той же сцены с пожаром (рис. 21 и 22 соответственно).



**Рис. 21.** Видеоизображение зоны пожара



**Рис. 22.** Изображение зоны пожара, полученное тепловизором в диапазоне длин волн 8...14 мкм

Как и в предыдущем случае, рис. 21 даёт обзорное описание картины пожара и хорошо выявляет геометрию дымового шлейфа, в то время как тепловизионное изображение (рис. 22) демонстрирует внутреннюю структуру пожара и позволяет выделить зону открытого огня и, таким образом, показать скрытую от глаз латентную информацию. Совместная интерпретация обоих снимков обеспечивает получение информационного синергетического эффекта, что не может быть получено по отдельности каждым сенсором.

Результаты эксперимента и материалы литературных источников, посвящённые вопросам оценки информативности данных, полученных разными сенсорами дистанционного зондирования, нашли свое отражение в итоговой табл. 2 экспертной четырёхбалльной оценки. Анализ указанной таблицы указывает на перспективность совместного анализа данных различных спектральных диапазонов.

**Таблица 2.** Экспертная оценка вкладов отдельных спектральных диапазонов в различных условиях освещённости и метеобстановки для системы расширенного видения. Здесь принято: +++ отлично; ++ хорошо; + удовлетворительно; – плохо (невозможно); ВПП — взлётно-посадочная полоса

Оптический диапазон (канал)	Дневное освещение	Условия с низкой освещённостью	Сложные метеоусловия
Видеоканал ближнего ИК-диапазона (ВК)	Изображение местности высокого разрешения +++	Изображение местности и источников света (посадочных огней, фонарей и т. п.) ++	Изображение ярких точечных источников света +
Гиперспектральный канал (ГСК)	Изображение местности высокого разрешения, оценка состояния ВПП +++	Изображение местности, селекция посадочных огней ++	–
Тепловизионный канал (ТВК)	Обнаружение работающей техники на ВПП +++	Оконтуривание рельефа и объектов в зоне ВПП ++	–
УФ-С-канал (УФСК)	Визуализация УФ-полей, оконтуривание ВПП, навигация, обнаружение очагов пожара +++	Визуализация УФ-полей, оконтуривание ВПП, навигация, обнаружение очагов пожара +++	Визуализация УФ-полей, оконтуривание ВПП, навигация, обнаружение очагов пожара ++

Оптический диапазон (канал)	Дневное освещение	Условия с низкой освещённостью	Сложные метеоусловия
ВК+ГСК	Изображение местности высокого разрешения, оценка состояния ВПП +++	Изображение местности и источников света (посадочных огней, фонарей и т. п.) +++	Изображение ярких точечных источников света +
ВК+ГСК+ТВК	Изображение местности высокого разрешения, оценка состояния ВПП, обнаружение работающей техники на ВПП +++	Изображение источников света (посадочных огней, фонарей и т. п.), оконтуривание рельефа и объектов в зоне ВПП, обнаружение очагов пожара +++	Изображение ярких точечных источников света, обнаружение очагов пожара ++
ВК+ГСК+ТВК	Изображение местности высокого разрешения, оценка состояния ВПП, обнаружение работающей техники на ВПП +++	Изображение источников света (посадочных огней, фонарей и т. п.), селекция посадочных огней, оконтуривание рельефа и объектов в зоне ВПП ++	Изображение ярких точечных источников света, обнаружение очагов пожара ++
ВК+ГСК+ТВК+УФСК	Изображение местности высокого разрешения, оценка состояния ВПП, обнаружение работающей техники на ВПП. Визуализация УФ-полей, оконтуривание ВПП, навигация, обнаружение очагов пожара +++	Изображение источников света (посадочных огней, фонарей и т. п.), селекция посадочных огней, оконтуривание рельефа и объектов в зоне ВПП. Визуализация УФ-полей, оконтуривание ВПП, навигация, обнаружение очагов пожара +++	Изображение ярких точечных источников света. Визуализация УФ-полей, оконтуривание ВПП, навигация, обнаружение очагов пожара ++

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование явилось развитием метода многоспектрального анализа данных дистанционного зондирования Земли. Его специфика заключалась в оценке возможностей многосенсорной

съёмки, проводимой в широком диапазоне длин волн от ультрафиолетового до теплового ИК. Различные комбинации данных позволили осуществлять географическую привязку изображений, выявлять детальную структуру анализируемой сцены, изучать спектральный состав излучения объектов и различать по нему точечные источники, что особенно важно, например, для функционирования систем аэродромной посадки в сложных метеоусловиях. Дальнейшим направлением исследований, связанных с «развёрткой» информации, которое несёт с собой принимаемое излучение, является использование многоракурсной [Егоров и др., 2014], многополяризационной [Егоров и др., 1981] и скейлинговой съёмки [Макаренко и др., 2014].

## ЛИТЕРАТУРА

- [Егоров и др., 1981] *Егоров В. В., Жуков Б. С.* Анализ информативности поляриметрического метода дистанционного зондирования // Многозональные аэрокосмические съёмки Земли. М.: Наука, 1981. С. 203–210.
- [Егоров и др., 2014] *Егоров В. В., Калинин А. П., Мельникова Е. М., Родионов А. И., Родионова И. П.* Многощелевой гиперспектрометр для дистанционного зондирования Земли под несколькими углами визирования // Датчики и системы. 2014. № 8. С. 26–31.
- [Макаренко и др., 2014] *Макаренко Н. Г., Каримова Л. М., Круглун О. А.* Скейлинговые свойства цифровых изображений земных ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 2. С. 26–37.
- [Родионов и др., 2013] *Родионов И. Д., Родионов А. И., Ведешин Л. А., Виноградов А. Н., Егоров В. В., Калинин А. П.* Авиационные гиперспектральные комплексы для решения задач дистанционного зондирования // Исследование Земли из космоса. 2013. № 6. С. 81–93.
- [Lee et al., 1994] *Seung-Yong Lee, Kyung-Yong Chwa, James Hahn, and Sung Yong Shin* Image Morphing Using Deformable Surfaces // Proc. Computer Animation'94. IEEE Society Press, May 1994. P. 31–39.
- [Vision system..., 2013] Vision system overview. C&PS Flight Technical Services, 2013. URL: [https://www.mygdc.com/assets/public\\_files/gdc\\_services/pilot\\_services/presentations/Vision\\_Systems\\_Overview.pdf](https://www.mygdc.com/assets/public_files/gdc_services/pilot_services/presentations/Vision_Systems_Overview.pdf).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Ретроспективный взгляд на методы и средства дистанционной съёмки в оптическом диапазоне длин волн.....	4
Многосенсорная съёмка и её возможности.....	10
Результаты экспериментов и их обсуждение.....	13
Заключение .....	21
Литература .....	22

055(02)2

ИКИ РАН

Москва, 117997, Профсоюзная ул., 84/32

Подписано к печати 14.04.2016 г.

---

Заказ 3362

Формат 70×108/32

Тираж 75

2,94 усл.-печ. л.