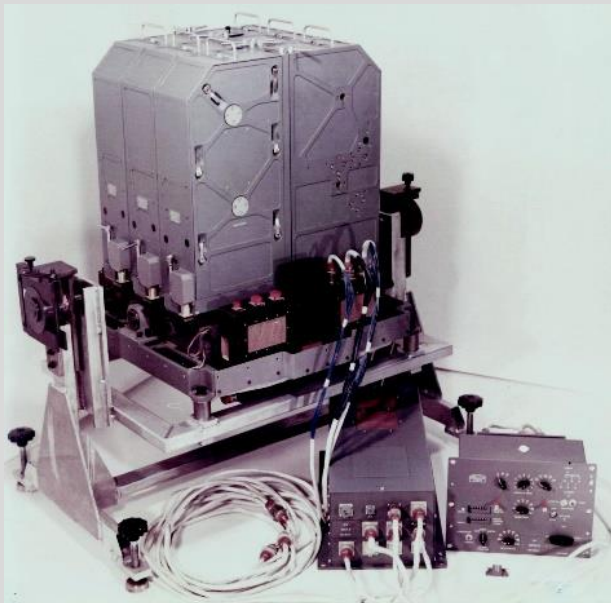


*Двадцать вторая международная конференция  
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"*

# **Метод определения соответствия объектов с эталоном по корреляции их наблюдений в разных зонах спектра и опыт его применения в дистанционном зондировании**

*В.В. Егоров, В.А. Котцов, Д.Б. Балтер, М.В. Стальная*

Институт космических исследований РАН



**ИКИ**

2024

## О проблемах использования многопараметрических данных

- Важной проблемой применения многопараметрических систем наблюдения является рост числа используемых параметров (зон спектра), что потенциально увеличивает вероятность распознавания множества объектов, но значительно повышает сложность обработки, увеличивает объемы хранения и передачи данных.
- При увеличении размерности получаемой видеоинформации, соответственно статистической теории, быстро увеличиваются требования к наземной привязке.
- Линейная модель представления данных в пространстве параметров меньше соответствует линейной многомерной структуре, а мера расстояния требует учета вторых порядков.
- Одним из путей повышения эффективности результатов таких наблюдений является методы сокращения размерности получаемых данных. Величина межканальной корреляции также может использоваться для уменьшения избыточности и получения целевой информации.

*Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. М. Физматгиз, 1963*

*Чесноков Ю.М., Котцов В.А. О выборе спектральной чувствительности систем исследования Земли из космоса. УФН, 1975, 116, вып.4*

## О корреляции между результатами наблюдений

- Корреляционные методы широко используются в анализе видеоинформации получаемой в системах дистанционного зондирования для отождествления заданных объектов или нахождения их положения в поле зрения, для распознавания природы наблюдаемого объекта или его состояния по спектральным особенностям, а также решения других задач.
- Коэффициент корреляции используют для распознавания, но при этом не предполагают существование причинно-следственных связей, а имеет вероятностный характер.
- Широко используют метод ортогонального разложения корреляционной (ковариационной) матрицы на главные компоненты, которые дают систему осей с максимальными дисперсиями и обеспечивают максимально эффективное сокращение размерности..
- При решении разных задач применяют и различные типы корреляционных оценок предназначенные для выявления объектов или процессов различного происхождения. Кроме парной корреляции используют множественную корреляцию, каноническую корреляцию и другие.

*Мальцев Г.Н., Луцай С.И. Корреляционное распознавание объектов по многоспектральным данным.  
Оптический журнал, т.71, №11, 2004.*

*Котцов В.А. Наблюдение широтных изменений состояния растительного покрова из космоса.  
Исследования Земли из космоса. №1, 1984*

# Корреляционный портрет

Если рассматривать двумерную **корреляционную** матрицу, как изображение, связывая величину частных значений корреляции (ковариации) наблюдаемых параметров между зонами спектра с условными яркостями, то эти **изображения можно между собой сравнивать**.

Информационное содержание корреляционной матрицы характеризует наблюдаемый объект, его особенности и поэтому можно считать получаемую структуру его **корреляционным портретом**, как назвал её D. A. Landgrebe.

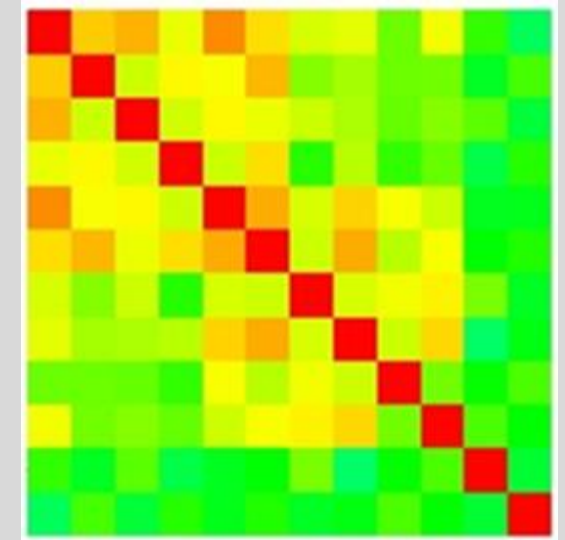
**Корреляционный портрет** — это сама матрица межканальных корреляций (ковариаций), вычисленная по изображению или отдельному выбранному фрагменту изображения, например.

Здесь представлены два примера корреляционных портрета для участков **водной поверхности** (сверху) и **посевов зерновых** (снизу), которые имеют характерный диагонально симметричный вид.

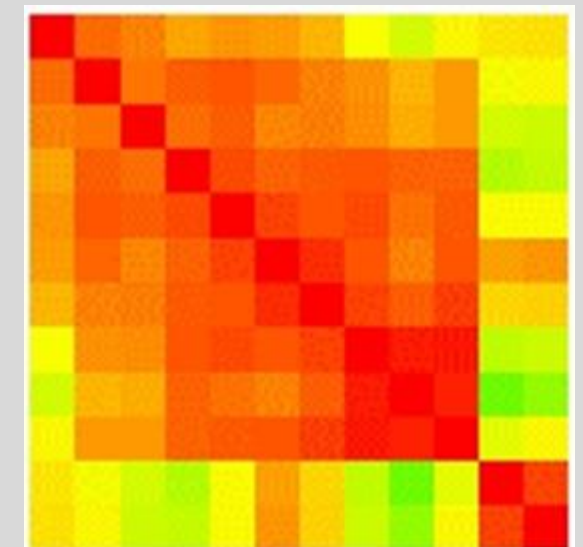
*Lee, C., Landgrebe D. A., Analyzing High Dimensional Data // Proc. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS), p. 561-563, May 1992*

*Балтер Б.М., Егоров В.В., Котцов В.А., Стальная М.В. Корреляционные портреты гиперспектральных данных дистанционного зондирования // Всеросс. научно-техническая конференция "Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов". Таруса, 22-25 сентября 2008. Сборник трудов. ИКИ РАН, 2009*

*водная поверхность*



*посевы зерновых*



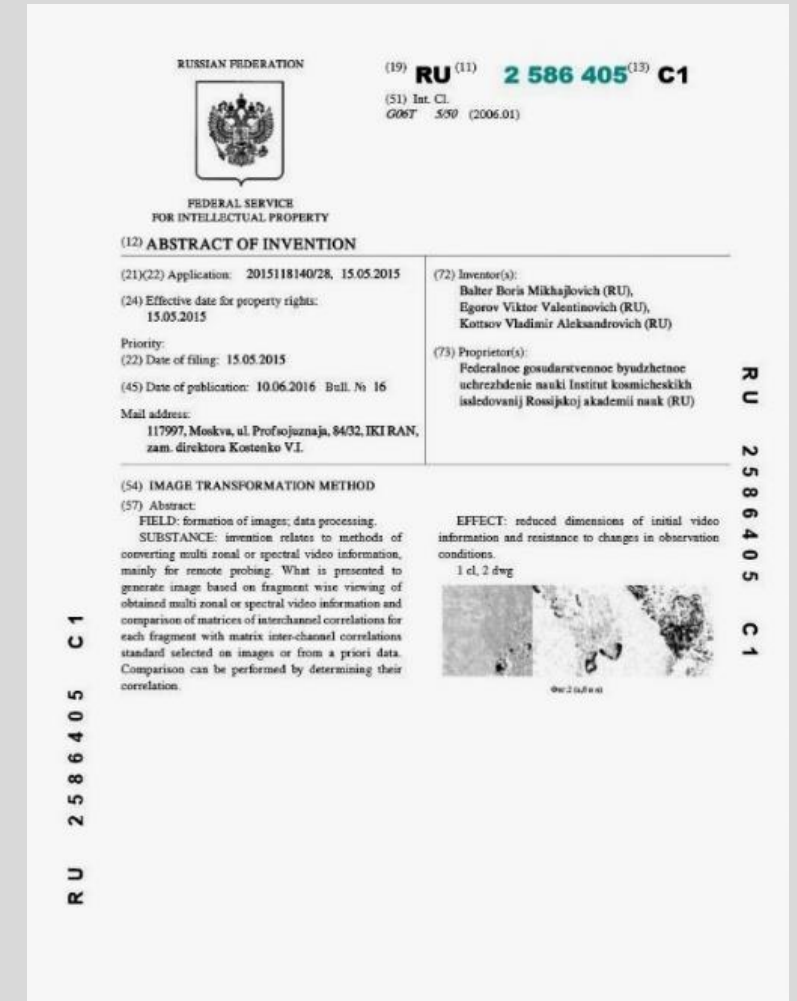
# Метод двойной корреляции для распознавания

Для идентификации типа объектов или их состояний нами предложен способ основанный на использовании уникальности корреляционных свойств объектов наблюдаемых в разных зонах спектра для разных эталонных образцов (корреляционных портретов).

Сущность предложения заключается в определении соответствия их путем оценивания корреляции «второго уровня», а именно

корреляции между структурой корреляционной матрицы наблюдаемых объектов и структурой корреляционной матрицы выбранного эталона.

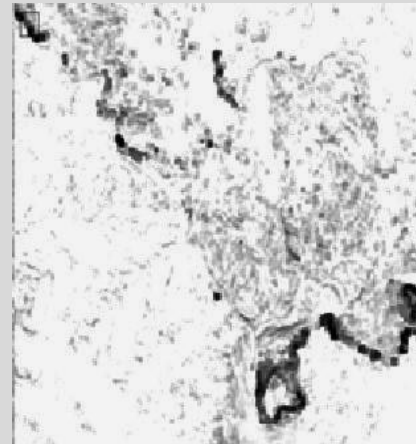
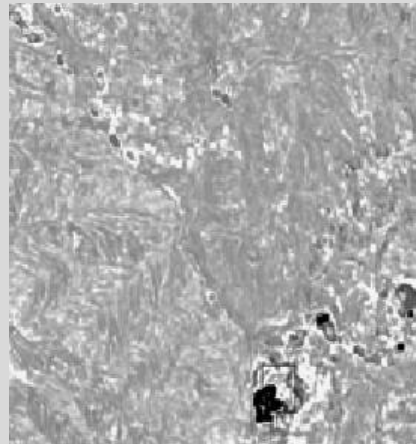
Учитывая технологию определения этого значащего параметра, такой способ можно назвать **способом повторной или «двойной корреляции»**.



*Патент РФ № 2586405, Балтер Б.М., Егоров В.В., Котцов В.А.  
Способ преобразования изображения, 2016.*

## Пример анализа лесного пожара

Для демонстрации возможностей применения корреляционного анализа использованы материалы съемки гиперспектрометром AVIRIS, выполненные с самолета в районе лесного пожара.



По результатам гиперспектральной съемки было выполнено корреляционное преобразование. На трех снимках показаны полученные результаты анализа разных форм распространения лесного пожара.

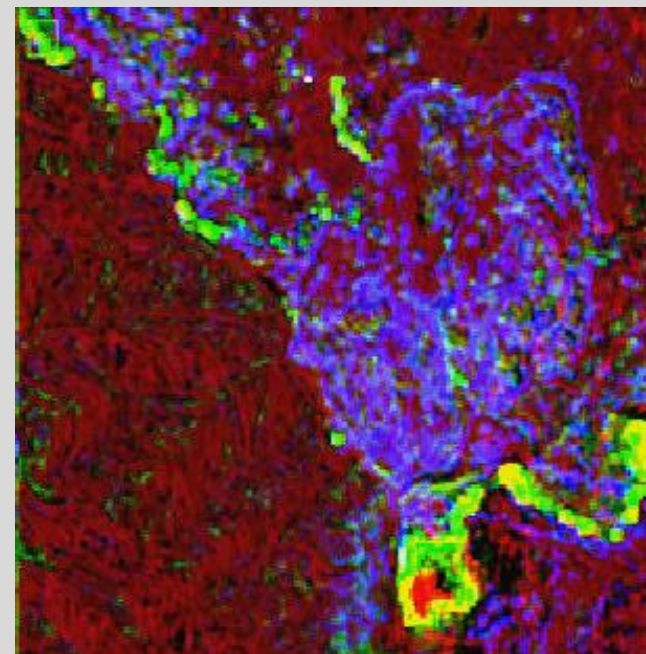
**Как оказалось, такая корреляционная оценка весьма чувствительна к пространственным вариациям тонких спектральных различий классифицируемых объектов.**

## Результат комплексной оценки участков пожара

Отдельные изображения можно комплексировать в цветном синтезированном изображении

Если формируется несколько результирующих изображений, то **каждое изображение** отражает степень сходства характеристик пространственно-спектральной изменчивости различных участков территории с соответствующими характеристиками своего эталонного объекта.

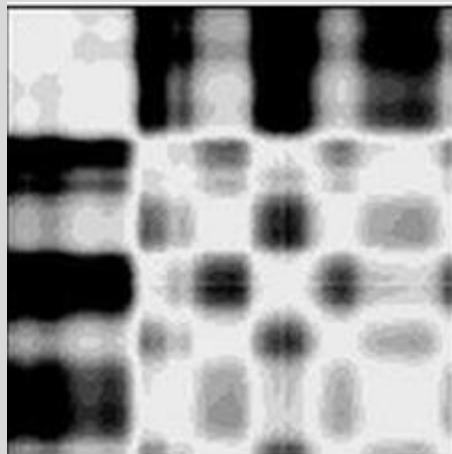
Эксперименты показывают, что предложенный подход к использованию в качестве идентифицирующего признака сопоставление структур межканальных корреляционных матриц наблюдаемого участка и эталона (двойную корреляцию), во многих случаях **обеспечивает устойчивое распознавание.**



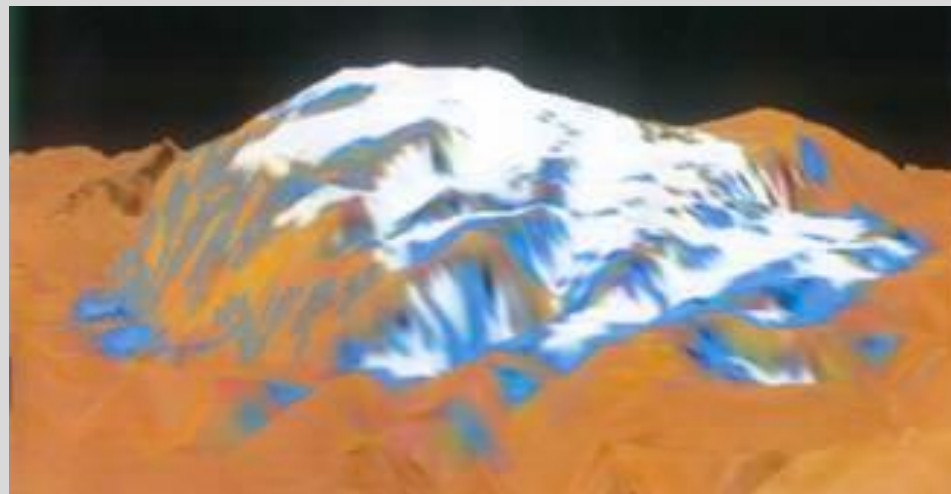
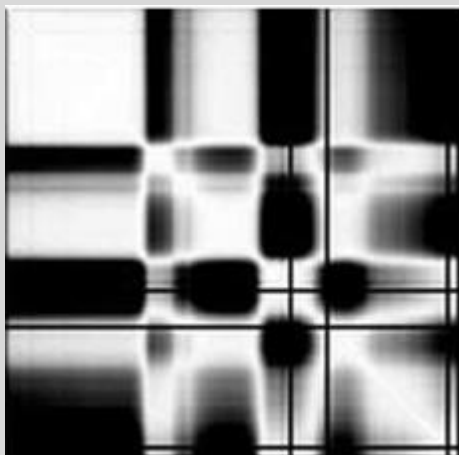
Цветосинтезированное изображение комплексного представления для всех трех полученных результатов :  
*красный* – с очагом пожара,  
*зеленый* – фронт пожара,  
*синий* – с мелкими возгораниями

# Применение вычисленного корреляционного портрета

*по лабораторным спектрам*



*по данным наблюдений*



По наблюдениям видеоспектрометра ОМЕГА с КА «Марс Экспресс» оценивалось распределение пропорций содержания углекислого льда ( $\text{CO}_2$ ) и водяного льда ( $\text{H}_2\text{O}$ ) в южной полярной шапке Марса (на правом рисунке). На рисунке слева показаны два корреляционных портрета полученных в диапазоне 0.95 – 2.65 мкм для этих льдов на Марсе.

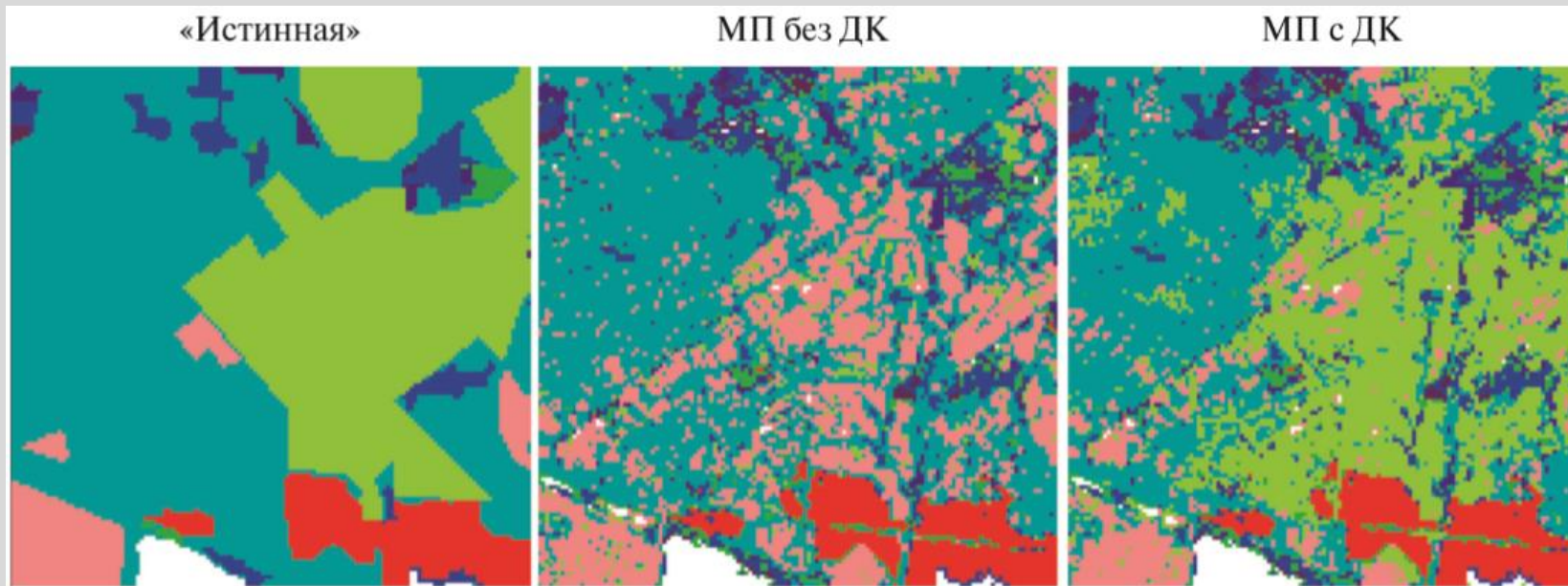
Левый корреляционный портрет смоделирован по лабораторным спектрам наблюдаемых веществ, а правый корреляционный портрет получен по данным наблюдений с околomarсианской орбиты. (Белый цвет соответствует коэффициенту корреляции 1, черный – 0).

*Балтер Б.М., Балтер Д.Б., Котцов В.А. Обработка гиперспектральных данных по Земле и Марсу // 4-я международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2006.*



## Пример комплексирования разных методов

Как показывает экспериментальная проверка, предложенный метод двойной корреляции (ДК) может служить хорошим дополнением к методам классификации, ориентированным только на средние спектральные показатели. Так например, в некоторых случаях он может существенно повысить эффективность распознавания при совместном применении с методом максимума правдоподобия (МП), например.



*Балтер Б.М., Егоров В.В., Котцов В.А., Фаминская М.В. Распознавание категорий наземных объектов на основе корреляционных портретов с применением в модели рассеяния атмосферных загрязнений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. т. 16. № 2*

## Заключение

Эксперименты показывают, что подход к использованию в качестве идентифицирующего признака двойной корреляции, корреляционного сопоставления структур межканальных корреляционных матриц наблюдаемого участка и эталона, во многих случаях обеспечивает устойчивое распознавание.

Данное решение обеспечивает максимальное снижение избыточности анализируемых данных для каждого наблюдаемого объекта.

Его применение дает результат инвариантный ко многим внешним изменениям условий наблюдения. Кроме того, эталон может быть вычислен по каталожным или лабораторным данным.

Многопараметрическая информация приводится к максимально простому виду для отображения. Результат целевого анализа по региону может быть наглядно представлен черно-белым изображением. Сопоставление нескольких таких результатов для разных факторов можно представить в цвете.

Показано, что предложенный метод двойной корреляции можно комплексировать с другими методами для повышения их эффективности.

ИКИ

**Спасибо за внимание**

