

**ДЕВЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

**Секция А: Методы и алгоритмы обработки спутниковых данных**

**Макет аппаратно-программного  
комплекса обработки данных гиперспектрального  
аэрокосмического зондирования**

**Кондранин Т. В., Козодеров В. В., Дмитриев Е. В.,  
Егоров В. Д., Борзяк В. В.**



# Основные компоненты системы гиперспектрального аэрозондирования

видеоспектрометр  
высокого разрешения,  
системы стабилизации  
и позиционирования  
НПО Лептон

цифровая коррекция и  
тематическая обработка  
гиперспектральных  
изображений  
МФТИ, МГУ, ИВМ РАН

Аппаратно-программный  
комплекс

проведение измерительных кампаний  
(измерения с самолета),  
наземная информация (лесотаксационные и  
биопродукционные данные, геоботанические  
описания)  
ТвГУ

# Технические характеристики гиперспектрометра

2007



2009

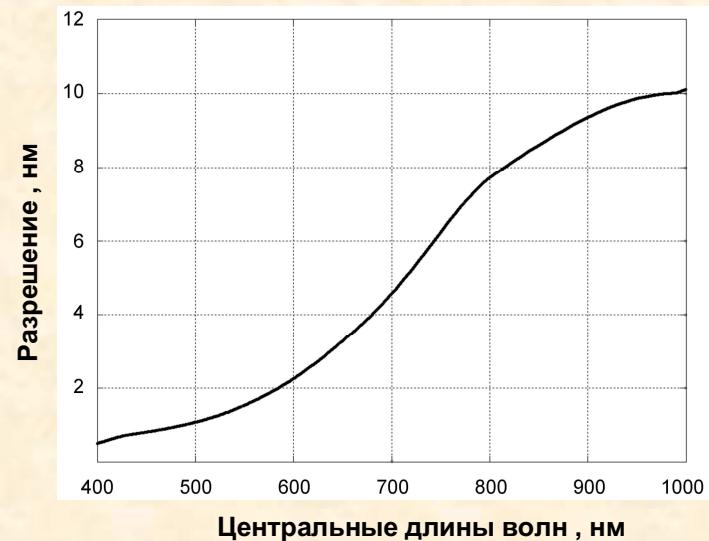


2010



- спектральный диапазон: 400-1000 нм;
- число спектральных каналов: 156 - 290;
- спектральное разрешение: 0.34 - 13 нм;
- угловое разрешение: 1.2-4.2'  
(размер пикселя 0.35 м на 1000 м);
- угол зрения: 10-35°  
(полоса захвата 175 м с высоты 1000 м);
- рабочие углы Солнца: 30° - 90°;
- мощность: 7 Вт;
- вес: 4.6 кг
- разрядность видеосигнала: 12 бит.

Спектральное разрешение  
как функция центральных  
длин волн каналов



# Гиперспектрометр АВ-ВД



- спектральный диапазон: 400-1000 нм;
- число каналов : 70 - 290;
- спектральное разрешение: 0.3 - 25 нм;
- угловое разрешение: 2'  
(размер пикселя 0.58 м 1000 м);
- поле зрения: 16°  
(полоса захвата 290 м с высоты 1000 м);
- рабочие углы Солнца : 30° - 90°;
- мощность: 7 Вт;
- вес: 2 кг;
- разрядность видеосигнала: 12 бит.

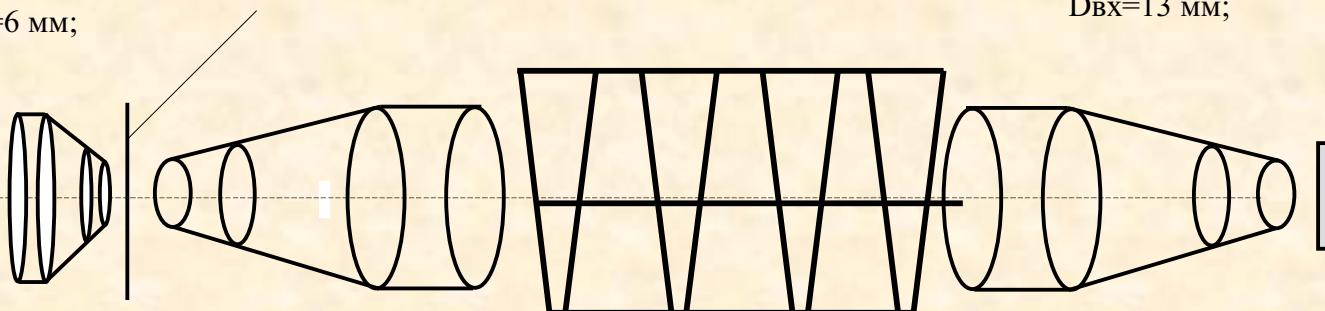
# Функциональная блок-схема гиперспектромера АВ-ВД

## Характеристики входного объектива:

$F_{\text{вх}} = 17 \text{ мм};$   
 $D_{\text{вх}} = 6 \text{ мм};$

## Характеристики спектральной щели:

Ширина щели -  $H_{\text{щели}} = 10 \text{ мкм};$  Рабочая длина щели -  $L_{\text{щели}} = 4.9 \text{ мм}.$



## Характеристики выходного объектива:

$F_{\text{вых}} = 34.75 \text{ мм};$   
 $D_{\text{вых}} = 13 \text{ мм};$

Фотоприемник:  
ПЗС матрица  
SONY "ICX-255"

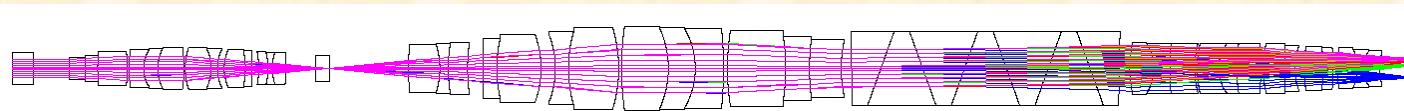
## Характеристики коллиматора:

$F_{\text{кол}} = 34.48 \text{ мм};$   
 $D_{\text{кол}} = 15 \text{ мм};$

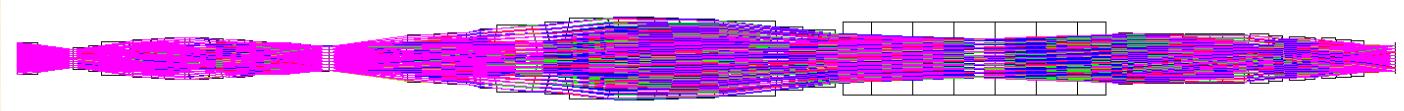
## Характеристики диспергирующего элемента:

количество призм – 7;

## Дисперсия лучей по длине волны



## по пространству (проекция щели)

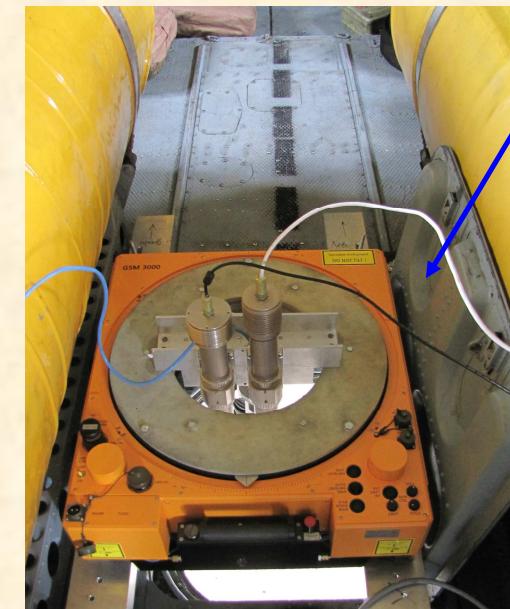


## Измерения с борта самолета АН-2

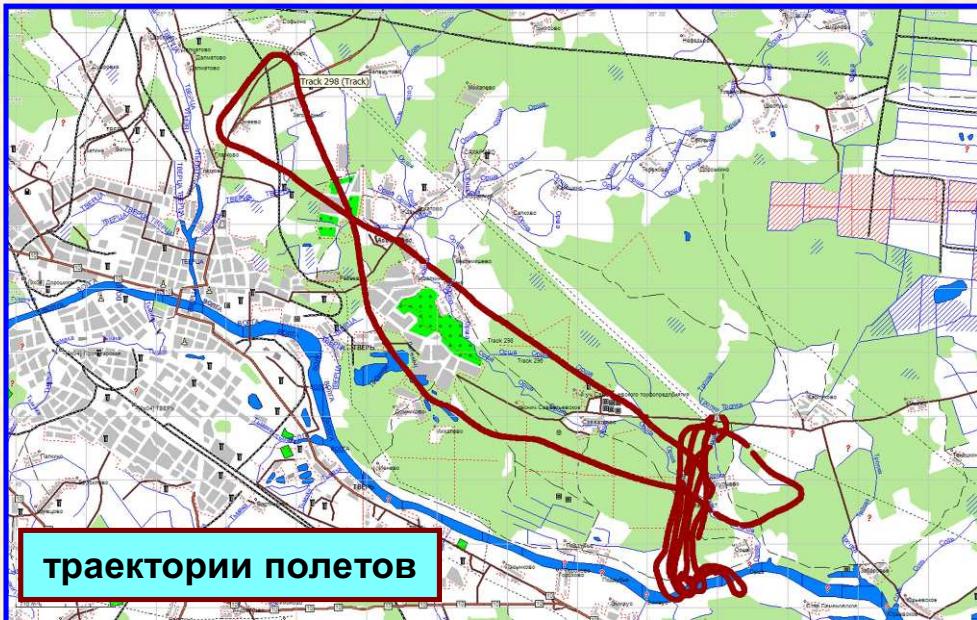


гиростабилизированная платформа

## Измерения с вертолета МИ-8



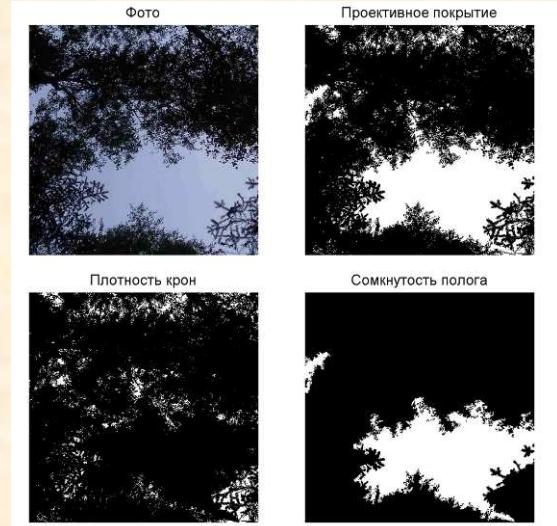
# Дистанционные и наземные измерения



## геоботанические описания

№	Название растений	Обилие (по Браун-Бланке)
1	Вейник сероватый	1
2	Осока вздутая	1
3	Сабельник болотный	+
4	Хвощ приречный	+
5	Щитовник игольчатый	+
6	Луговник дернистый	1
7	Кипрей болотный	+
8	Зюзник европейский	+
9	Бахта трехлистная	+
10	Марьянник дубравный	+
11	Гравилат речной	+
12	Льотик ползучий	+
13	Подмаренник топяной	+
14	Щитовник гребенчатый	+
15	Вербейник обыкновенный	+
16	Осока острая	+
17	Шлемник обыкновенный	+
18	Горичник болотный	+
19	Телиптерис болотный	+

## проекционные характеристики



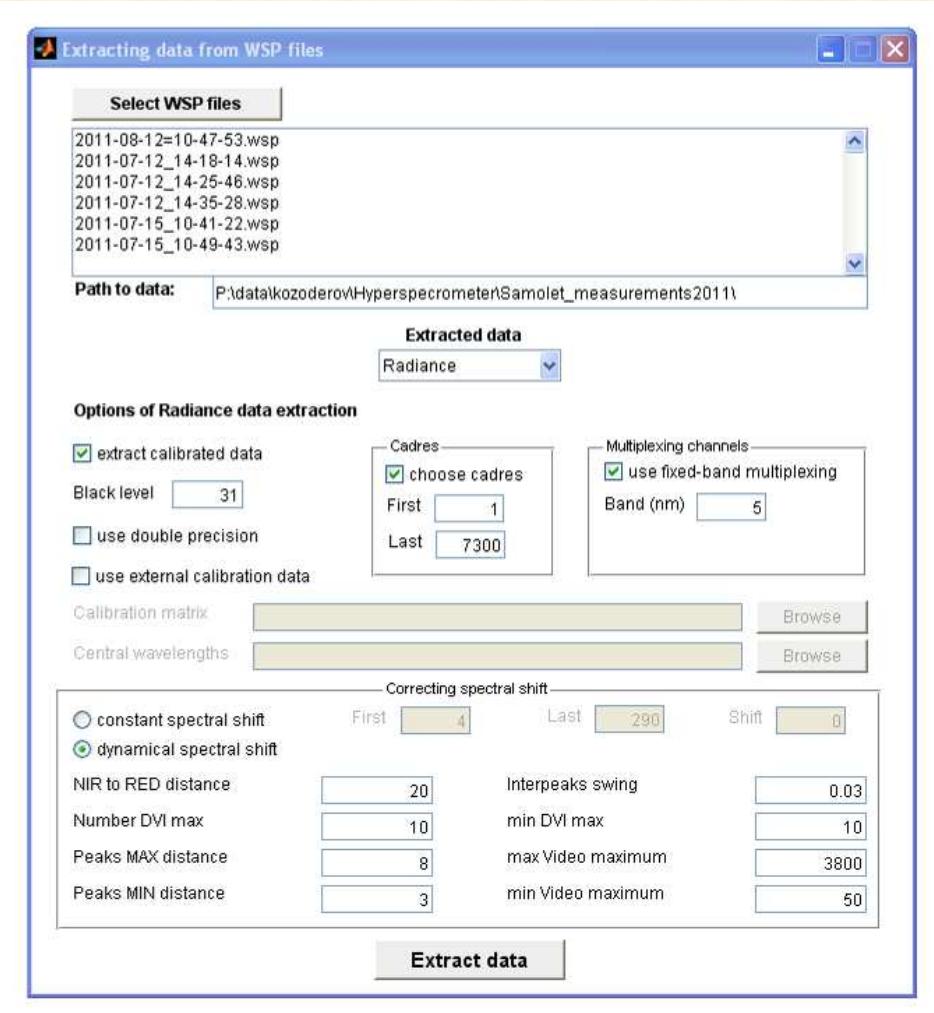
# **Программное обеспечение**

Разрабатывается программное обеспечение для обработки гиперспектральных данных на основе Matlab.

Основные направления:

1. Доступ к данным 0-го уровня и первичная цифровая коррекция.
2. Трансформация данных.
3. Визуализация и первичный анализ.
4. Построение обучающих ансамблей.
5. Распознавание объектов.
6. Восстановление лесотаксационных и биопродукционных характеристик.

# Доступ к данным 0-го уровня



## Потоки:

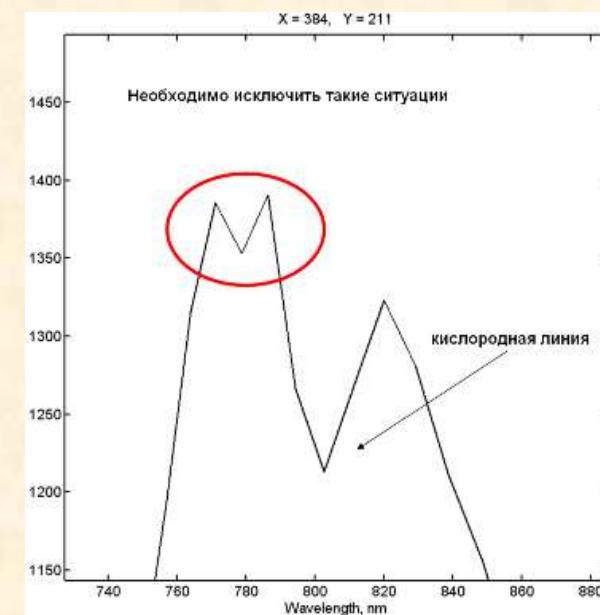
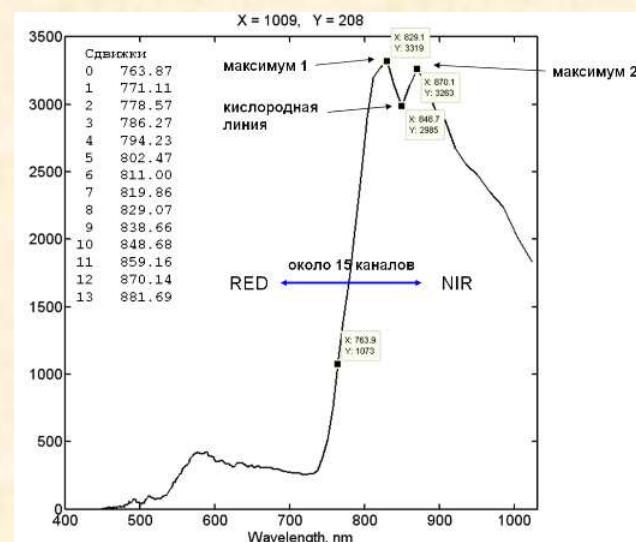
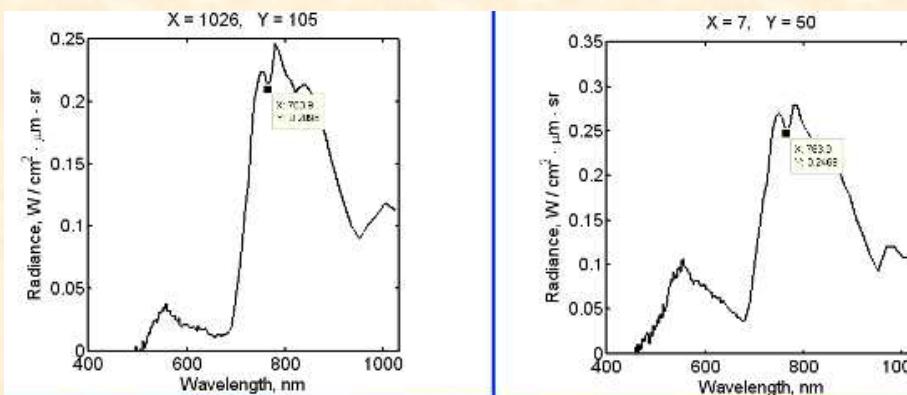
- информация о треке и о приборе;
- информация GPS;
- таймер кадров;
- данные калибровки;
- исходный видеосигнал;
- калиброванные данные;
- коррекция спектрального сдвига

# Динамическая коррекция спектральных сдвигов

## Основные шаги алгоритма

1. Поиск максимума значения DVI в заданном кадре.
2. Идентификация максимумов вокруг кислородной линии.
3. Поиск глобального минимума между найденными максимумами.

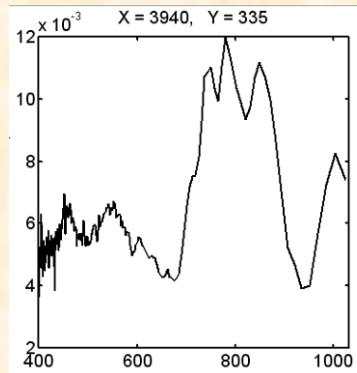
## Результаты



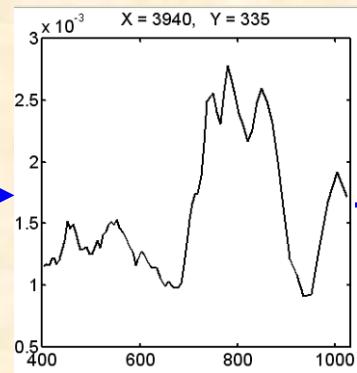
# Трансформация гиперспектральных данных

Редукция спектрального разрешения: растительность, метод FixedBand.

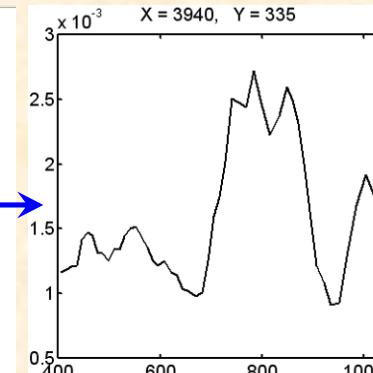
232 channels



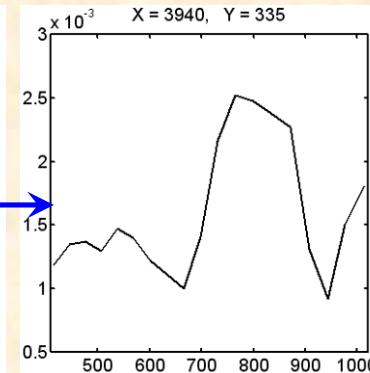
82 channels, 5 nm



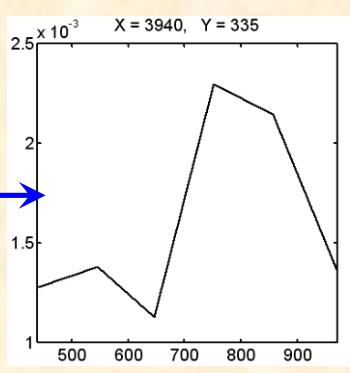
50 channels, 10 nm



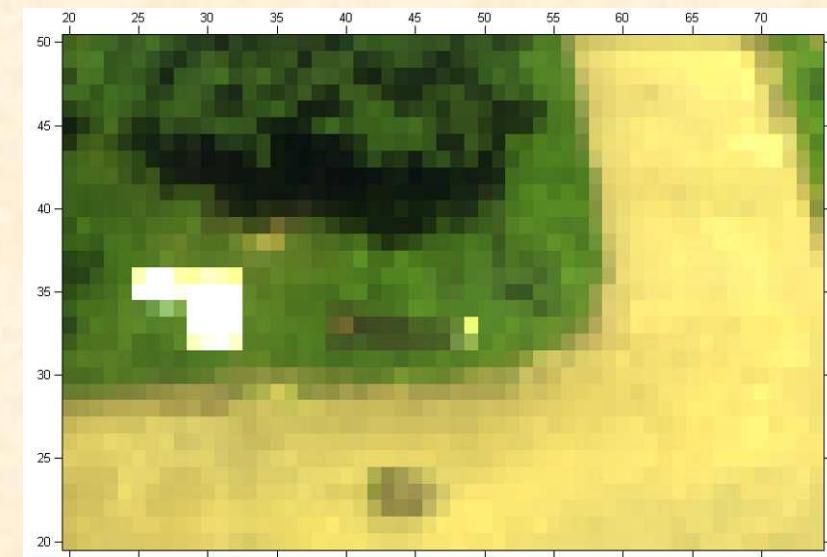
19 channels, 30 nm



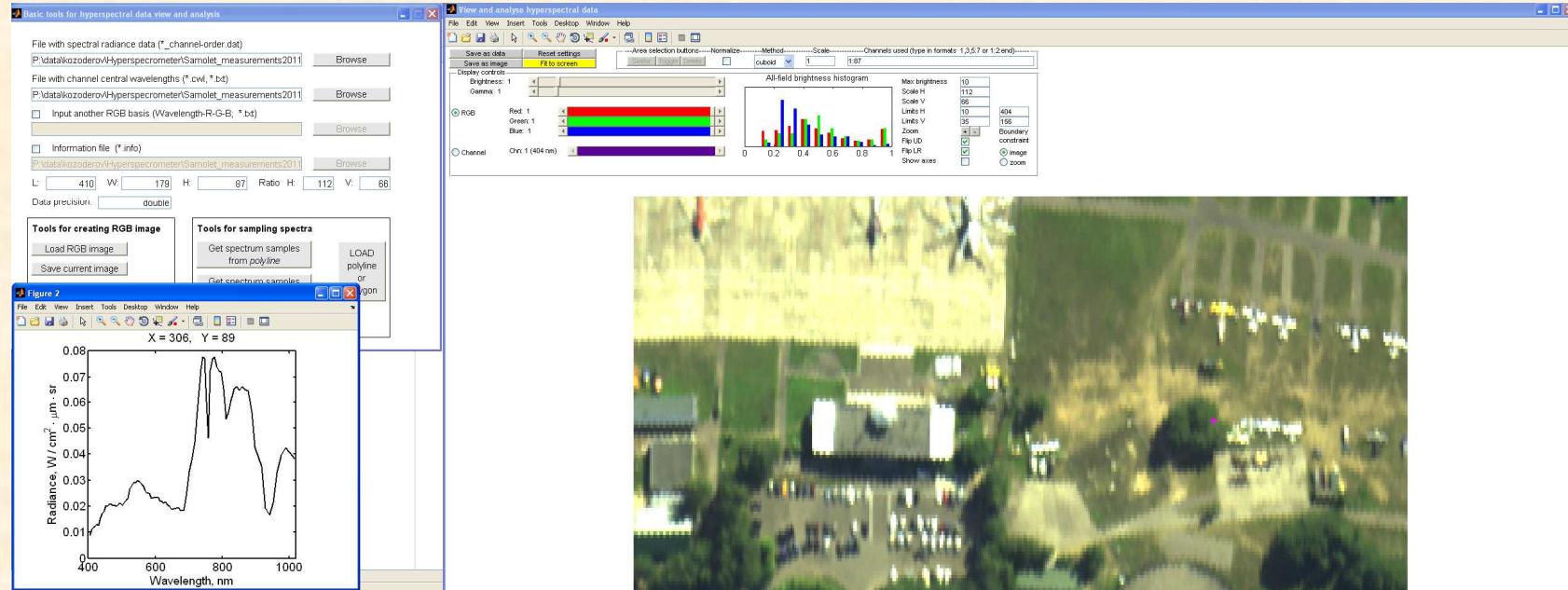
6 channels, 100 nm



Редукция пространственного разрешения: 10x10, метод SimpleIntegration.



# Анализ гиперспектральных изображений и подготовка обучающих выборок

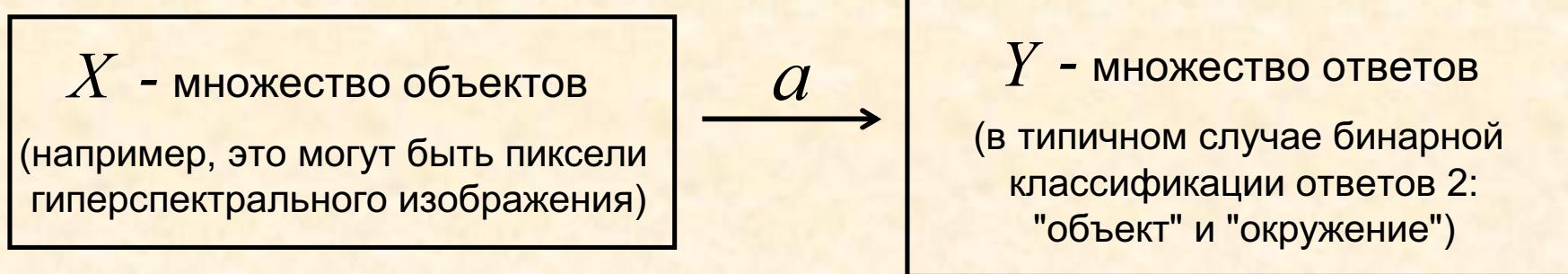


## Назначение:

- 1) построение изображений в отдельных каналах и RGB-изображений;
- 2) построение спектров отдельных пикселей;
- 3) выборка спектров пикселей, лежащих внутри многоугольника;
- 4) выборка спектров пикселей, лежащих вдоль ломаной;
- 5) выделение пикселей, схожих с заданными по спектру.

# Распознавание объектов природно-техногенной сферы по гиперспектральным изображениям

(математическая постановка задачи, распознавание с обучением)



Наша цель построить алгоритм  $a : X \rightarrow Y$ ,  
который бы приводил к наименьшим ошибкам

Оптимальный в заданном смысле алгоритм строится на основе

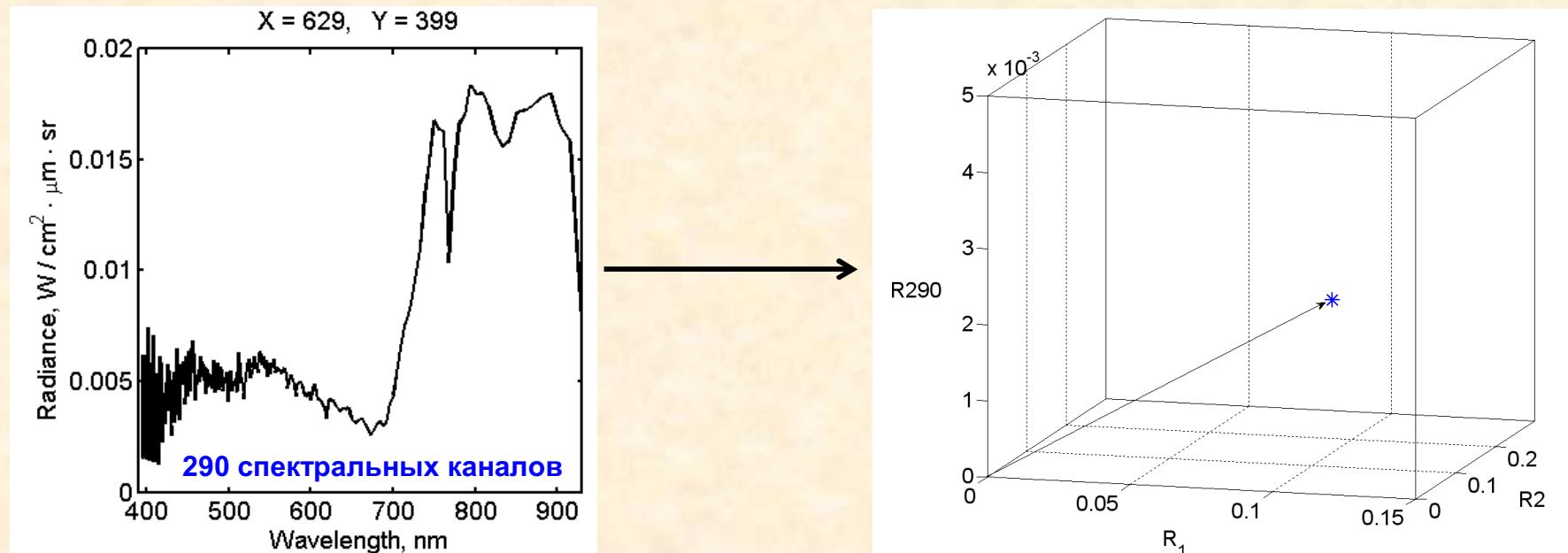
"Обучающей выборки"  $X^N = \{x(i), y(i)\}_{i=1}^N$  объема  $N$

для которой уже известна зависимость между объектами  $x(i)$   
и ответами  $y(i)$ .

При решении практических задач вместо множества **объектов** рассматривают множество **признаков** - характеристик объекта.

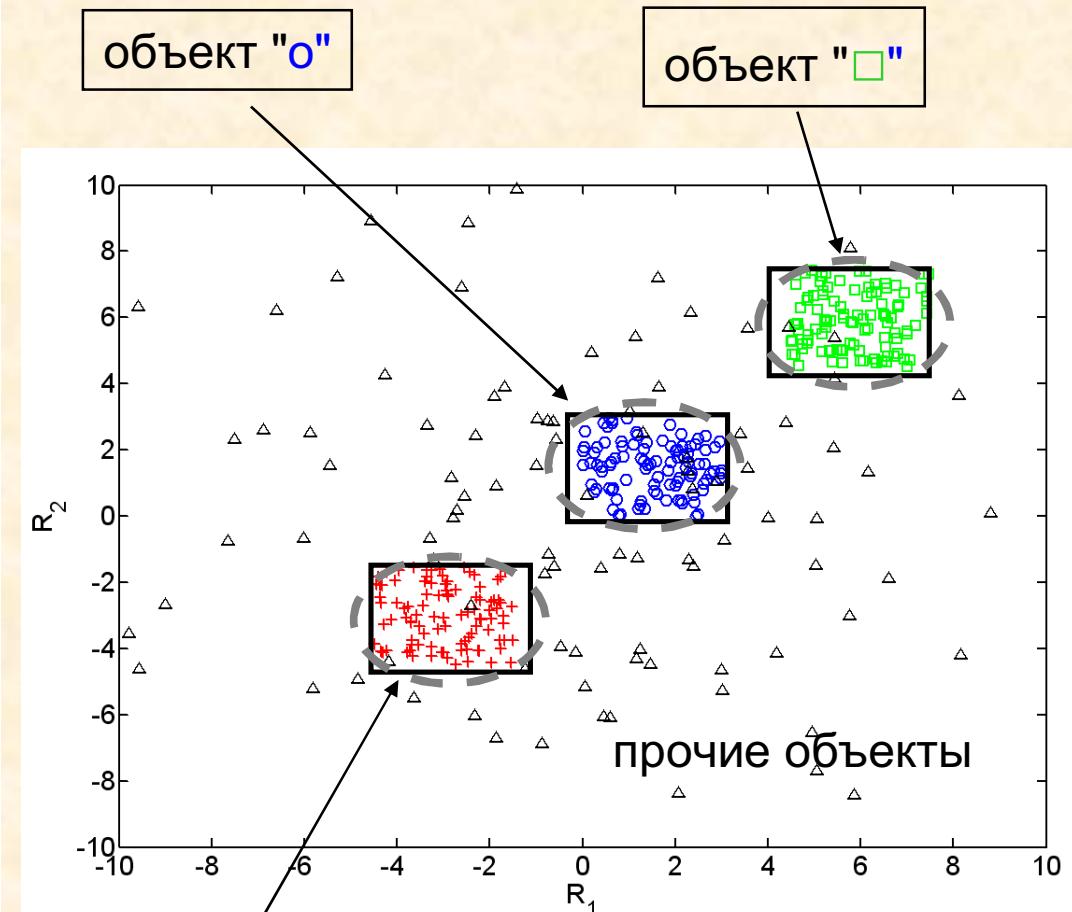
# Пространство признаков

Приведем пример формирования пространства признаков в задаче тематической обработки данных гиперспектральной съемки. Если для распознавания объектов используются их отражательные способности, признаками являются соответствующие каждому пикселю изображения спектральные яркости.



Множество спектров может быть представлено множеством точек в конечномерном пространстве, размерность которого соответствует числу используемых спектральных каналов.

# Поиск похожих спектров (1)



Метод сфер  
(евклидово расстояние)

$$\rho(x, c) = \sqrt{(x - c)^T (x - c)}$$

## Алгоритм метода параллелепипедов

$$a(x) = \begin{cases} \text{объект, } & x_i \in [a_i - \varepsilon_i, b_i + \varepsilon_i] \\ \text{окружение, } & \text{иначе} \end{cases}$$

Значения  $a_i$  и  $b_i$  находятся по эмпирической функции распределения, как границы доверительного интервала.  
 $\varepsilon_i$  - параметры масштабирования.

## Алгоритм метода эллипсоидов (и сфер)

$$a(x) = \begin{cases} \text{объект, } & \rho(x, c) < \varepsilon R \\ \text{окружение, } & \text{иначе} \end{cases}$$

$c$  - координаты центроида.

Метод эллипсоидов  
(расстояние Махalanобиса)

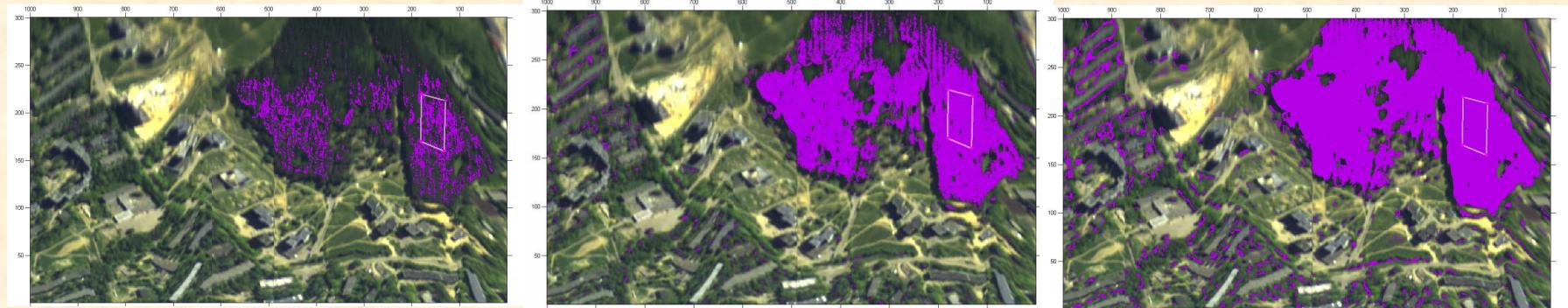
$$\rho(x, c) = \sqrt{(x - c)^T \Sigma^{-1} (x - c)}$$

$\Sigma$  - ковариационная матрица.

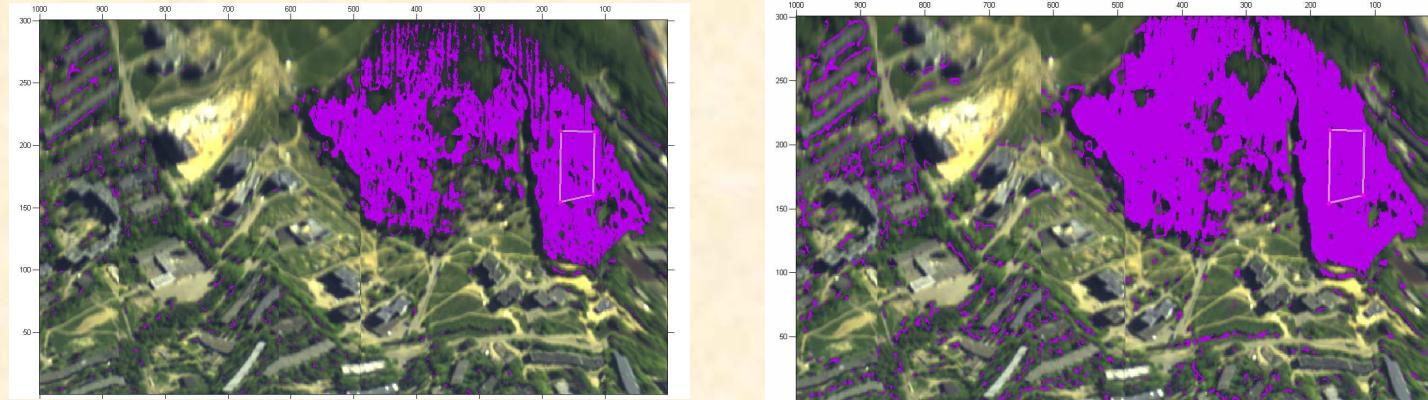
# Поиск похожих спектров (2)

(приспевающий сосновый древостой)

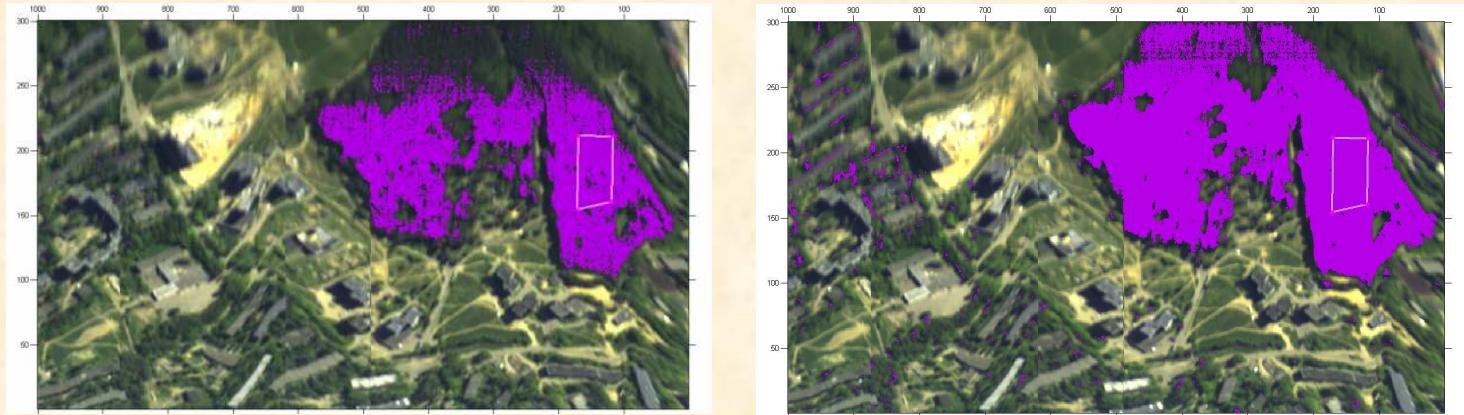
параллел.



Евклид.



Махаланоб.



# Нормальный байесовский классификатор

## Бинарный классификатор

### Отношение правдоподобия

$$D_1 = N(m_1, C_1) \quad D_2 = N(m_2, C_2)$$

$$\delta_C(x) = \begin{cases} T(x) < t & \rightarrow x \sim D_1, \\ T(x) \geq t & \rightarrow x \sim D_2, \end{cases}$$

$$T(x) = \ln \left( \frac{f_2(x)}{f_1(x)} \right) \quad t = \ln \frac{P(x \sim D_1)}{P(x \sim D_2)}$$

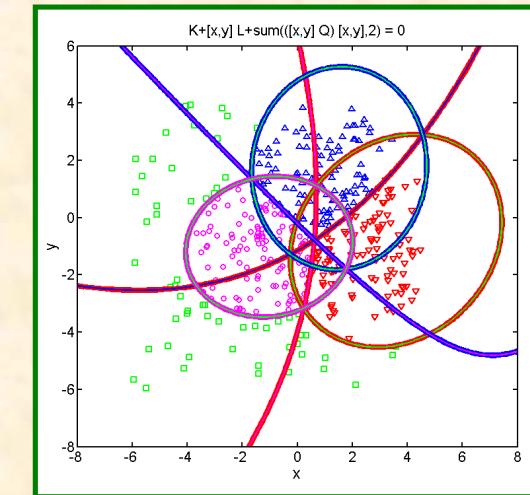
**квадратичный**  $C_1 \neq C_2$

$$F = x^T Q x + L x + K$$

$$Q = C_2^{-1} - C_1^{-1}$$

$$L = 2(m_1^T C_1^{-1} - m_2^T C_2^{-1})$$

$$K = 2t + \ln \left( \frac{\det C_2}{\det C_1} \right) + m_2^T C_2^{-1} m_2 - m_1^T C_1^{-1} m_1$$



**линейный**  $C_1 = C_2 = C$

$$F = L x + K$$

$$Q = 0$$

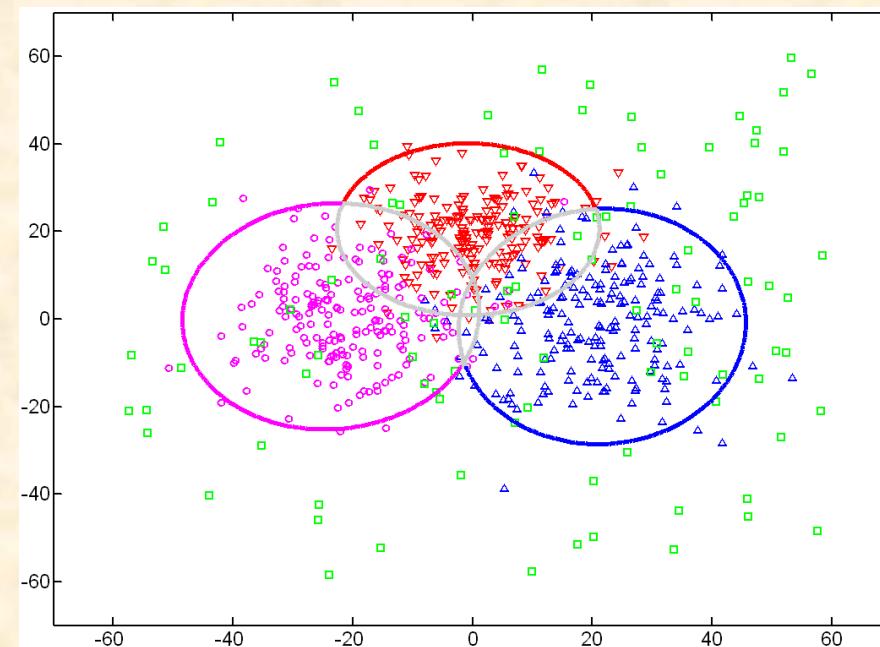
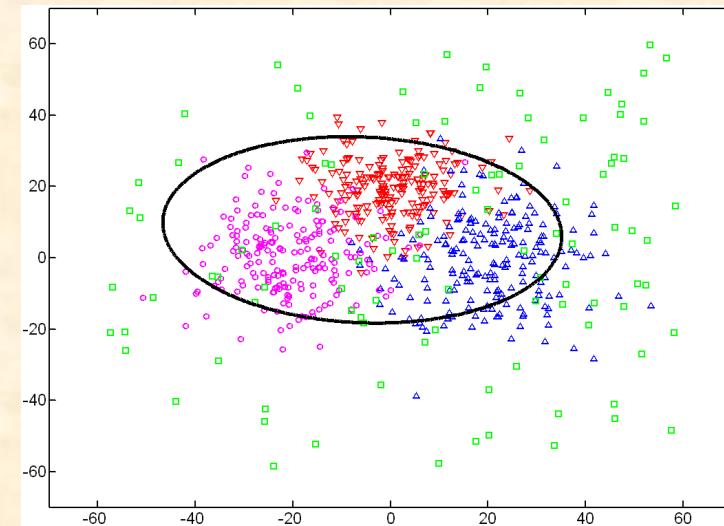
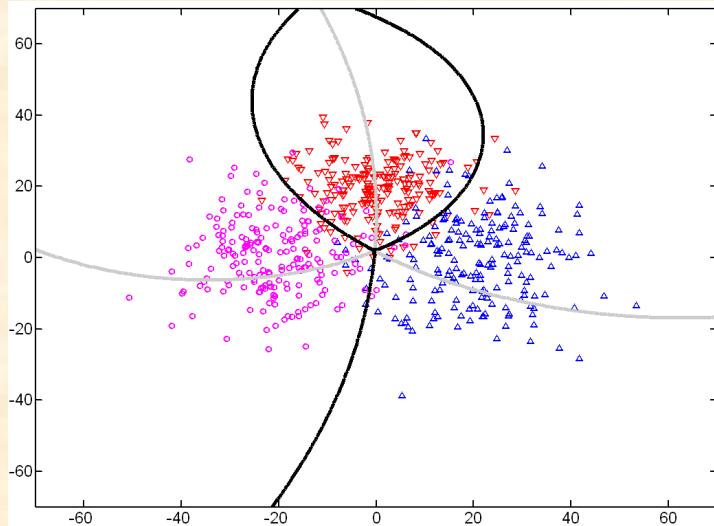
$$L = 2(m_1 - m_2)^T C^{-1}$$

$$K = 2t + m_2^T C^{-1} m_2 - m_1^T C^{-1} m_1$$

## Многоклассовый алгоритм

$$I = \arg \max_i \left( \ln(P(x \sim D_i)) - \frac{1}{2} (x - m_i)^T C_i^{-1} (x - m_i) - \frac{1}{2} \ln(\det(C_i)) \right) \quad D_i = N(m_i, C_i), \quad i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

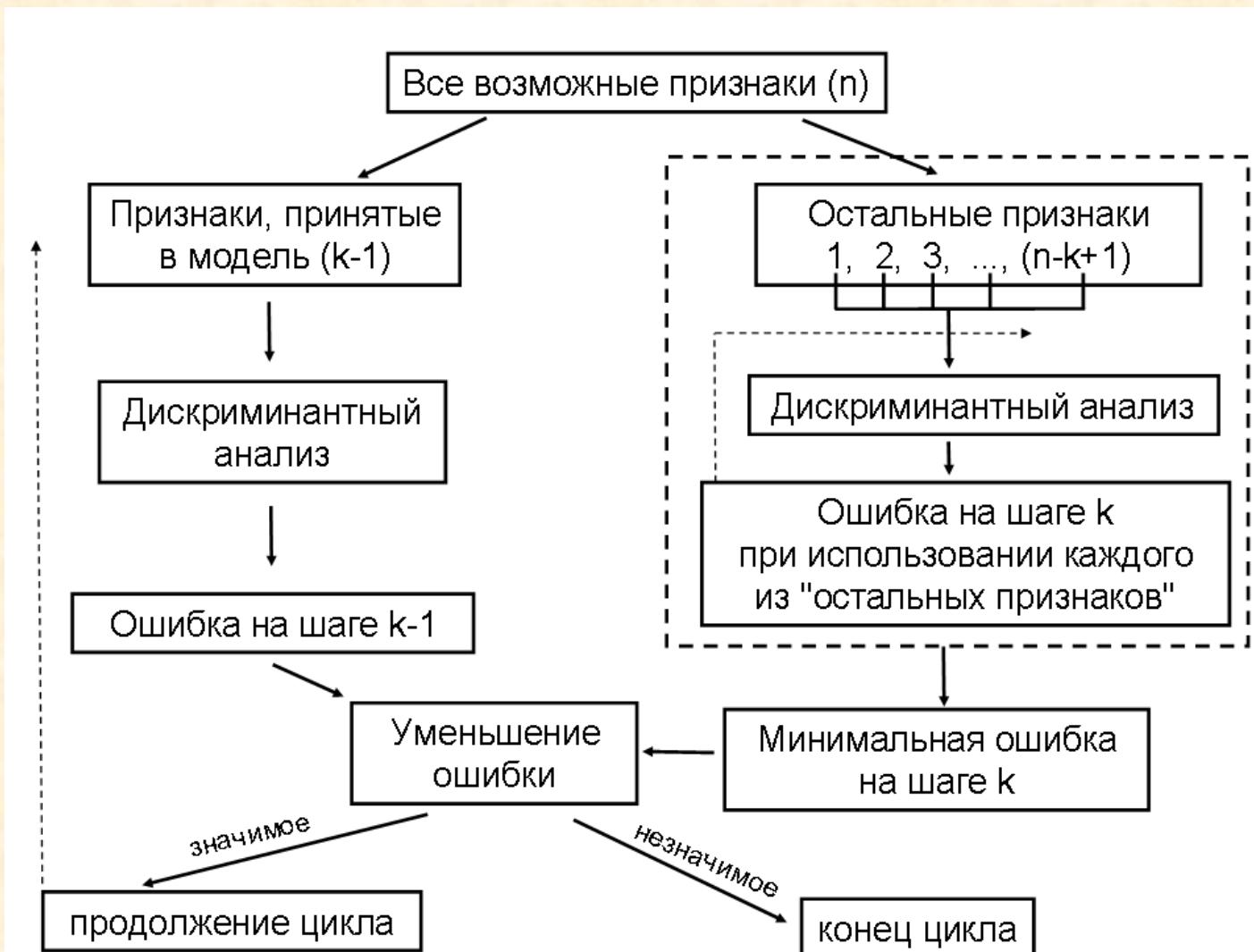
# Формирование дискриминантной поверхности для составных классов



□ - случайные числа  
с равномерным  
распределением

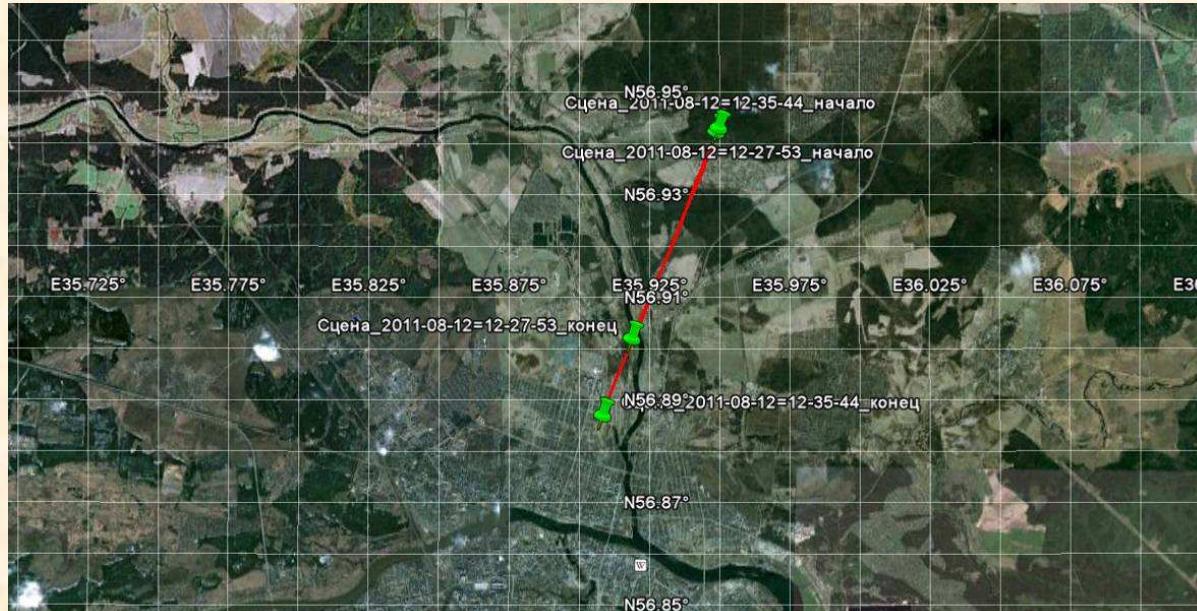
# Выбор наиболее значимых каналов

метод последовательного включения (step up)



# Устойчивость результатов распознавания

(обработка данных пролета по смежным траекториям, район аэропорта Змеево, Тверская область)



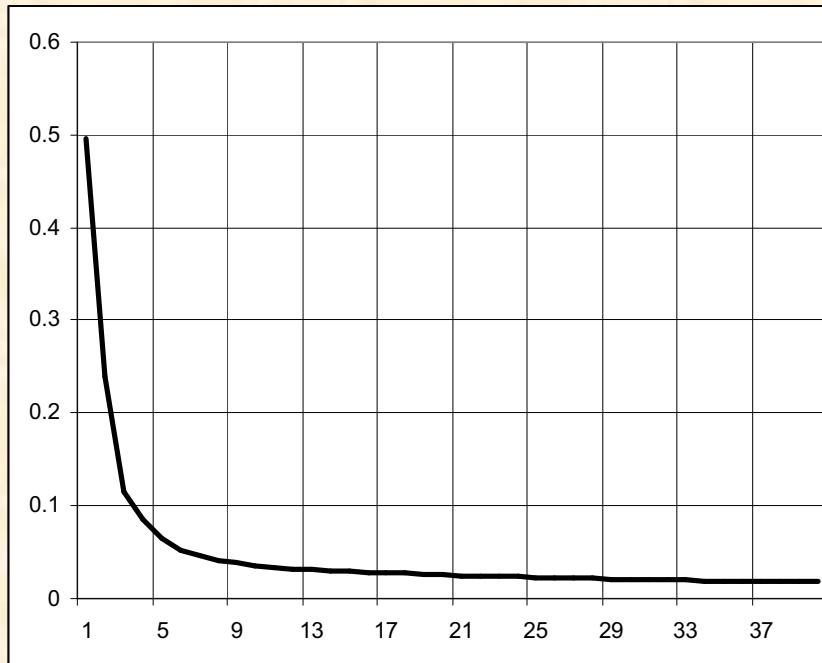
Zmeevo1 : 2011-08-12 12-27-53



Zmeevo2 : 2011-08-12 12-35-44



# Выбор информативных каналов



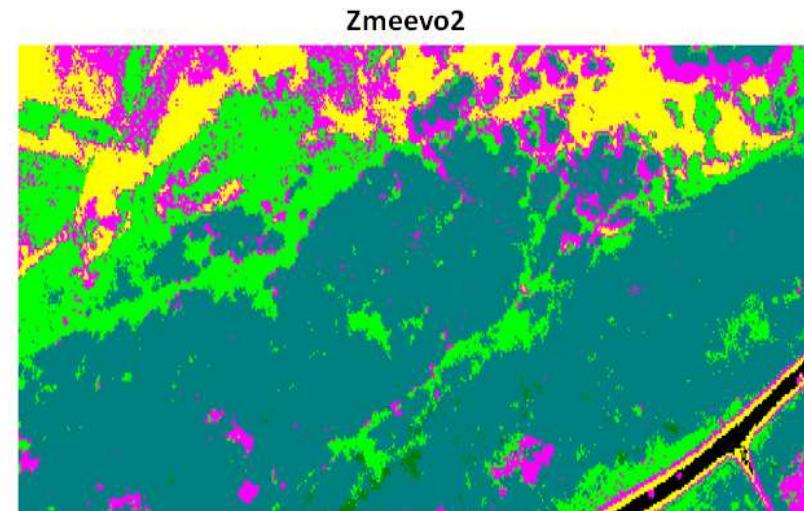
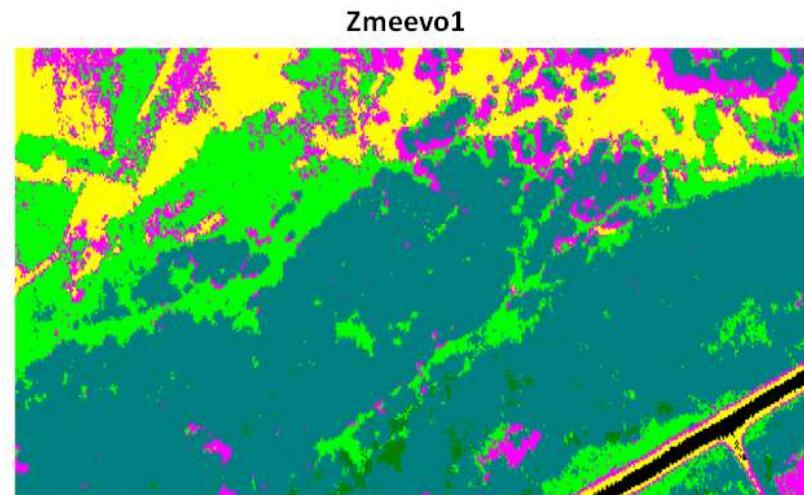
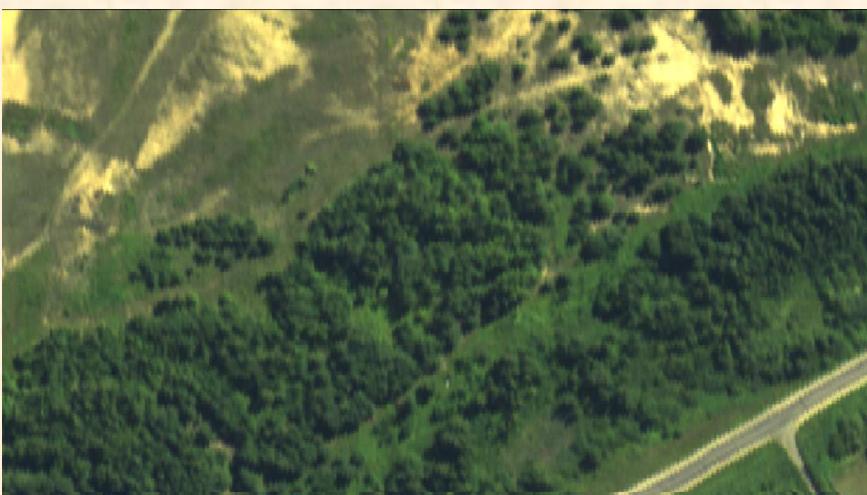
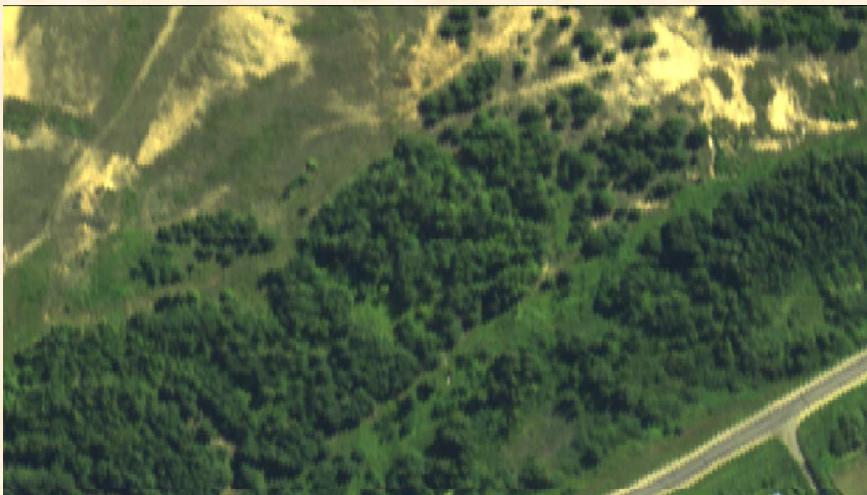
1	8	20	24	39	41	45
404.2129	441.3371	506.8479	529.097	619.6382	630.8378	655.5761

46	51	53	55	56	58	69	75
662.3395	700.8816	719.0795	736.5849	741.9124	753.0188	826.9257	878.724

77	80	81	83
898.2686	930.0024	941.2657	964.8816

# Валидация (1)

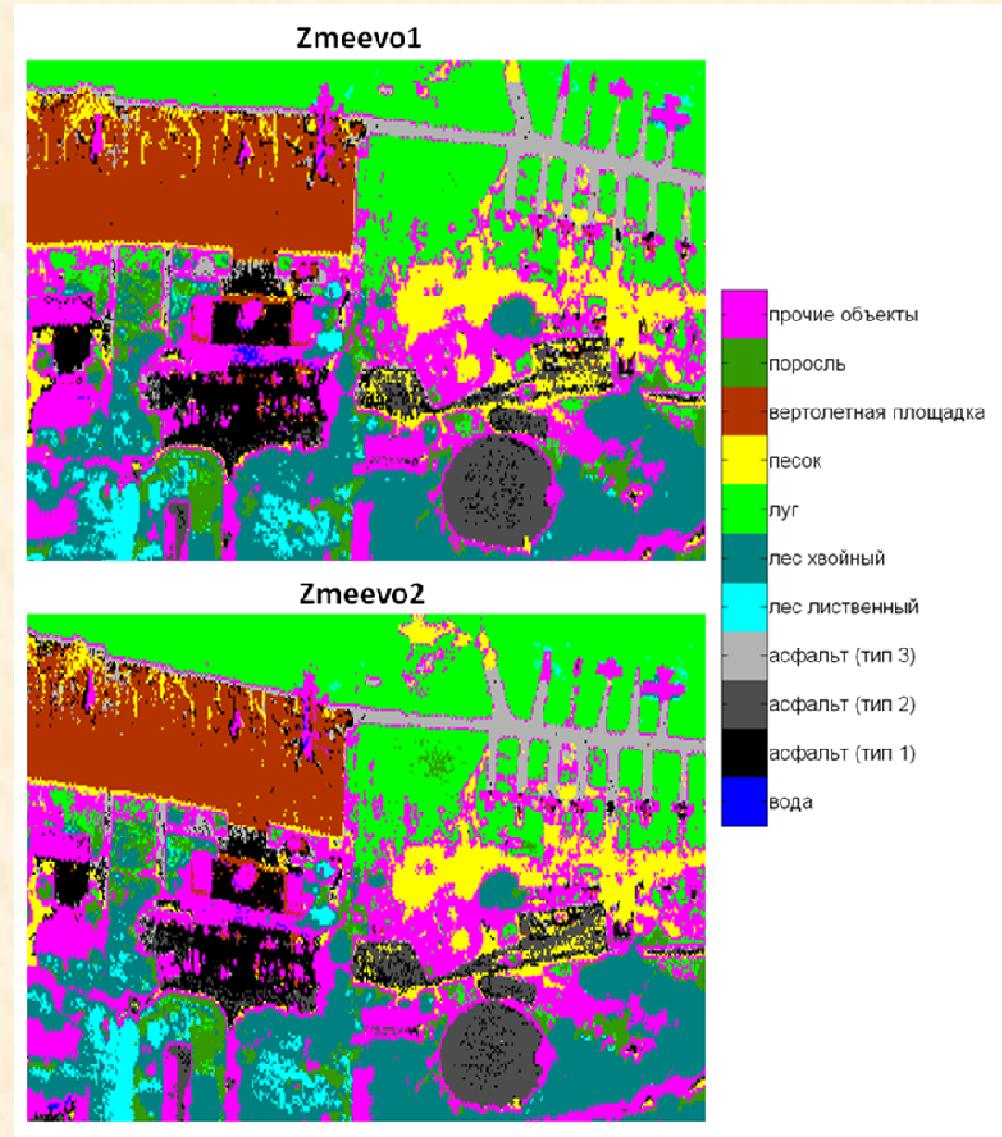
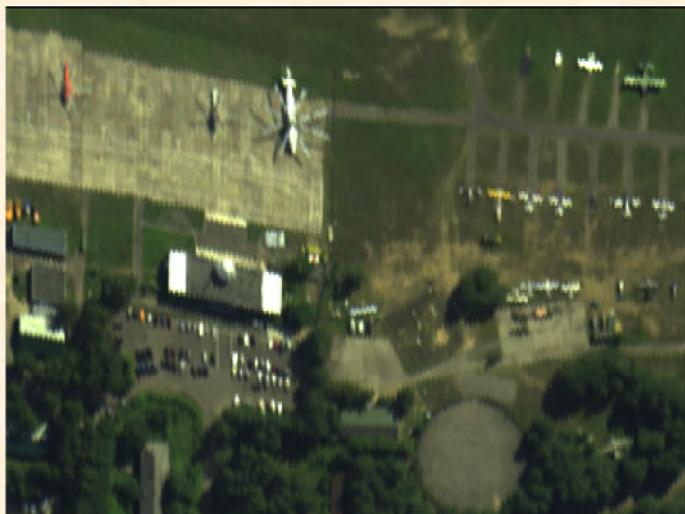
Смежные сцены с наличием открытых почв, луговой и лесной растительности



вода асфальт лес луг песок поросль прочие

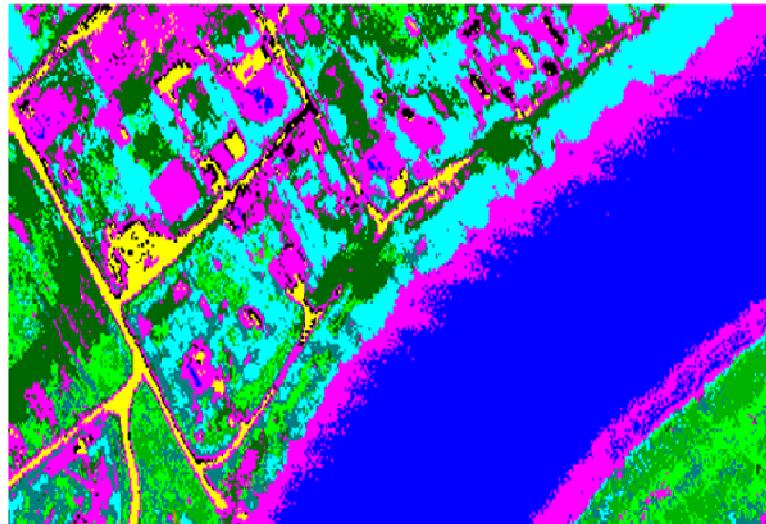
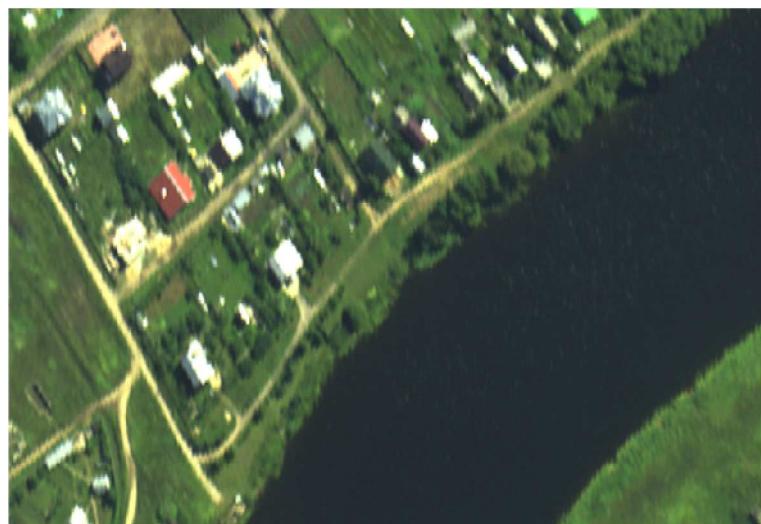
# Валидация (2)

Смежные сцены с наличием большого числа антропогенных объектов  
(аэропорт)



# Валидация (3)

Смежные сцены с наличием водных объектов (р. Тверца)



# **ВЫВОДЫ**

- 1. Представлено описание основных компонент аппаратно-программного комплекса обработки данных гиперспектрального аэрокосмического зондирования:**
  - видеоспектрометр видимого и ближнего инфракрасного диапазона;**
  - программное обеспечение для преобразования, коррекции и тематической обработки гиперспектральных изображений.**
- 2. Предложена процедура автоматической коррекции спектрального сдвига каналов видеоспектрометра.**
- 3. Методика распознавания основана на параметрической байесовской классификации с формированием составных классов, класса "прочие объекты" и выбором наиболее информативных каналов с помощью метода последовательного включения.**
- 4. Приведенные примеры распознавания объектов на смежных треках в районе аэропорта Змеево (Тверская обл.) демонстрируют устойчивость результатов обучения используемой модификации нормального байесовского классификатора.**