



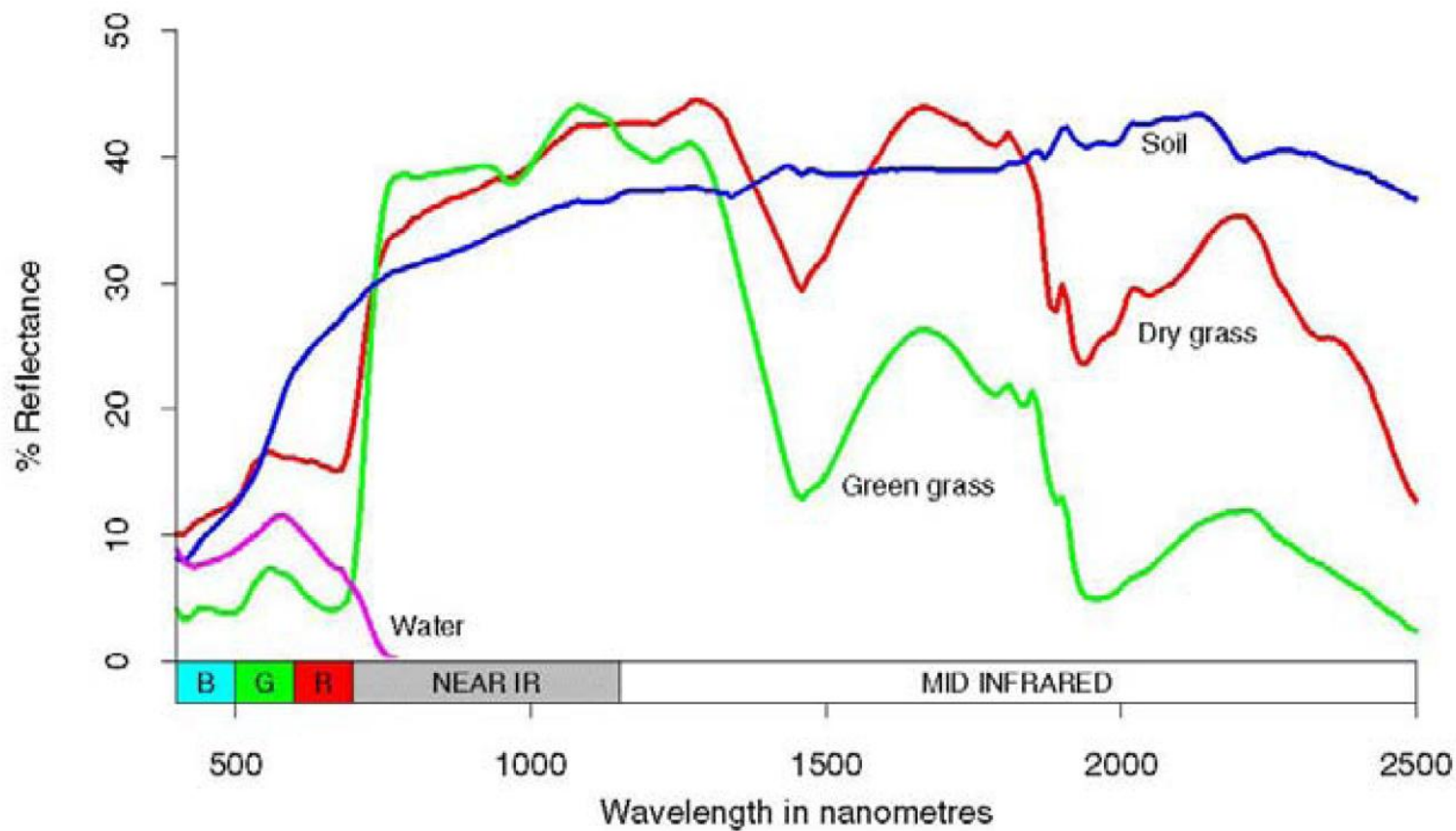
**Поиск объектов неприродного происхождения на основе
многоспектральной обработки пространственных
данных дистанционного зондирования Земли**

С.М. Борзов, О.И. Потатуркин



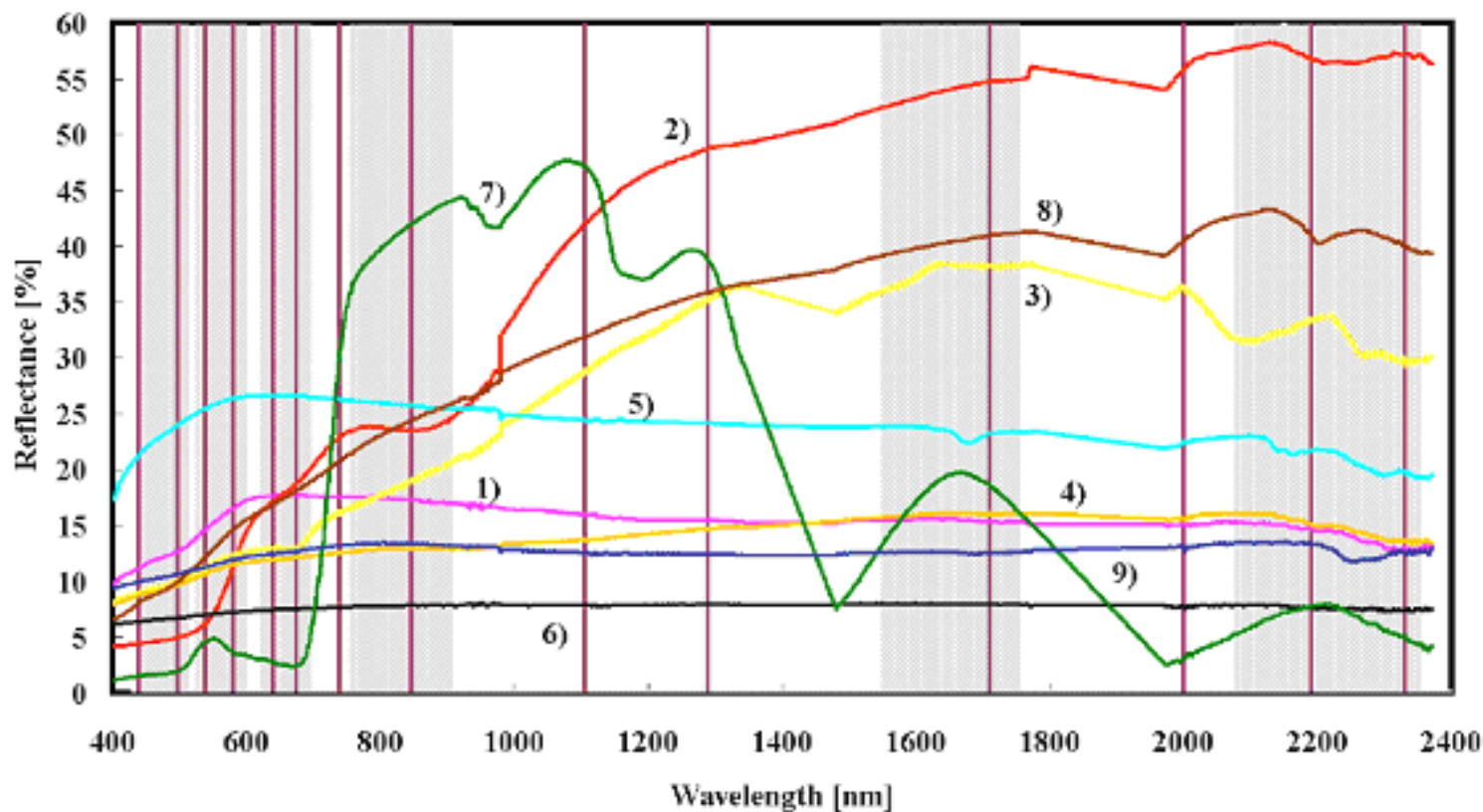


Спектры элементов природного ландшафта





Спектры материалов антропогенных зон



1 - желто-коричневая композитная дранка

2 - красные черепичные крыши

3 - деревянная дранка

4 - асфальтовая дорога

5 - бетонная дорога

6 – автомобильная парковка

7 - зеленая растительность

8 - обнаженная почва (стройплощадка)

9 - серо-коричневая черепица (цвет кедра)



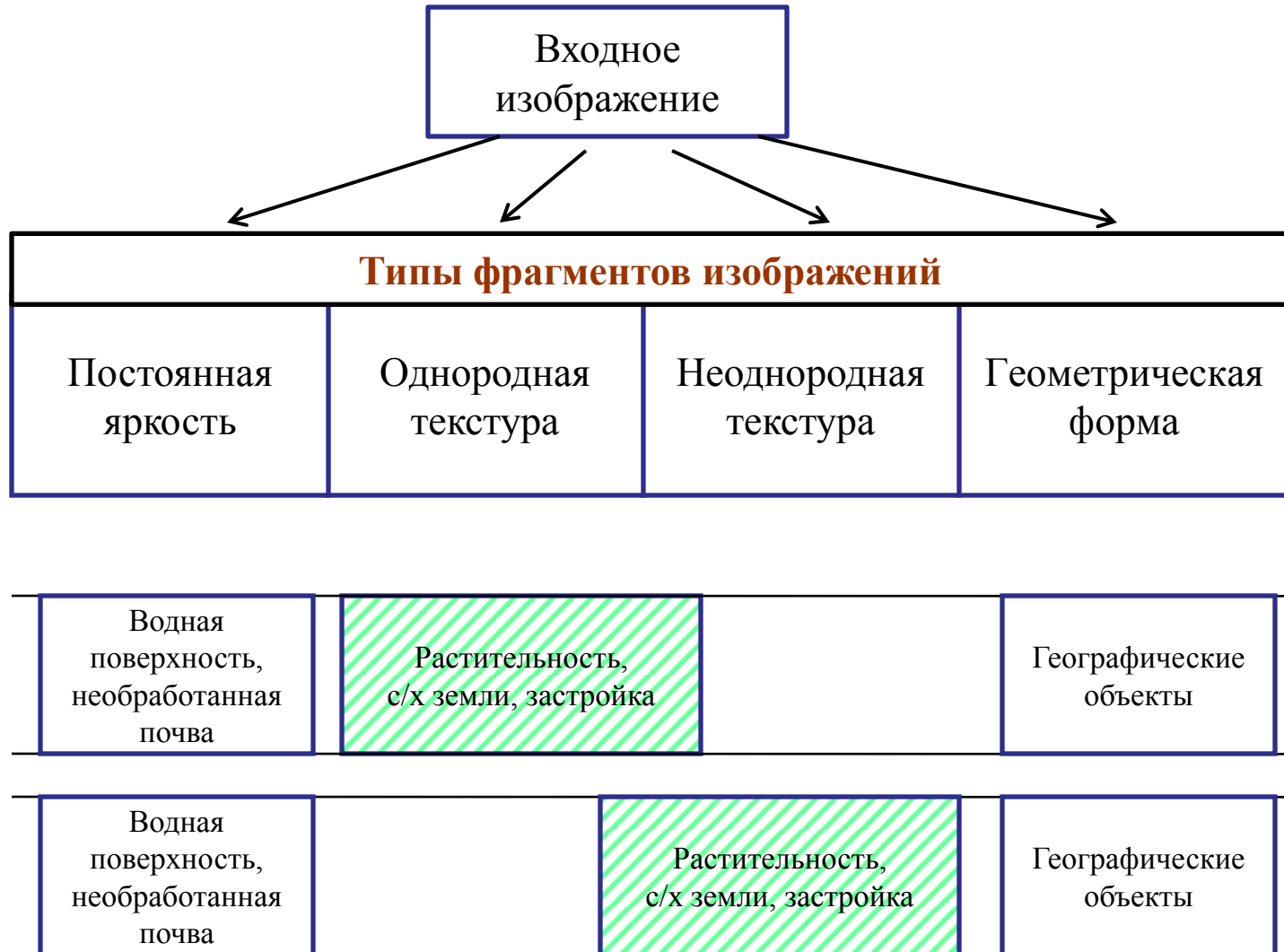
Спектральные свойства природного ландшафта и искусственных материалов

Тип объекта	Коэффициент отражения в спектральной полосе			Значение NDVI
	R (630-690 нм)	NIR (760-900 нм)	MIR1 (1550-1750 нм)	
Густая растительность	0.1	0.5	0.4	0.7
Разряженная растительность	0.1	0.3	0.2	0.5
Снег и лед	1.0	1.0	0.1	0.0
Облака	1.0	1.0	1.0	0.0
Вода	0.02–0.2	0.02–0.1	0.01–0.02	- 0.33 – 0.0
Открытая почва	0.1–0.25	0.11–0.3	0.15–0.5	~ 0.025
Искусственные материалы (бетон, асфальт, кирпич)	0.1–0.3	0.1–0.3	0.13–0.5	- 0.05 – 0.05



Классификация изображений при решении задач дистанционного зондирования Земли

Специфика изображений высокого и низкого разрешения





Классические текстурные признаки на основе матриц смежности (пространственные тематические слои)

Статистика пространственной взаимной зависимости значений яркости соседних точек изображений.

$P(I, J, d, \alpha)$ - матрица смежности (матрица совместной встречаемости), где I, J - яркости соседних точек на изображении,

d - расстояние между ними,

α - угловое направление

$$P(I, J) = \langle P(I, J, d = 1) \rangle_{\alpha}$$

- Энергия $F_1 = \sum_{I, J} P(I, J)^2$
- Энтропия $F_2 = \sum_{I, J} P(I, J) \cdot \log P(I, J)$

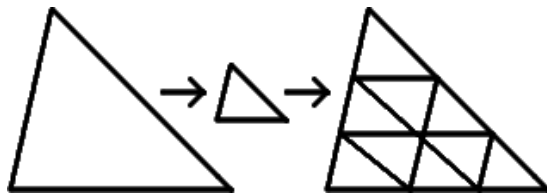


Классификация изображений с использованием фрактальной размерности

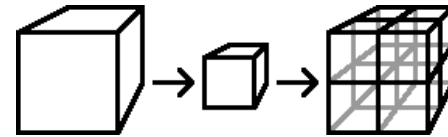
Топологическая размерность

При уменьшении размера фигуры в n раз она укладывается в исходной N раз (то есть мера её уменьшается в N раз), размерность определяется как

$$D = \frac{\ln N}{\ln n}$$



$$\ln(4)/\ln(2) = 2$$



$$\ln(8)/\ln(2) = 3$$

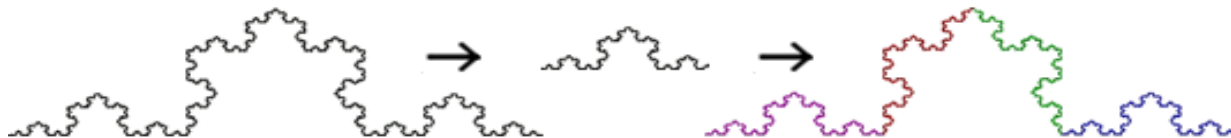
Фрактальная размерность

Фрактальная размерность фрагмента определяется как фрактальная размерность поверхности, сформированной изображением с использованием интенсивности в качестве третьей координаты.

$$F_3 = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)},$$

ε - размер элемента измерения;

$N(\varepsilon)$ - число элементов измерения размером ε , содержащих хотя бы одну точку поверхности.

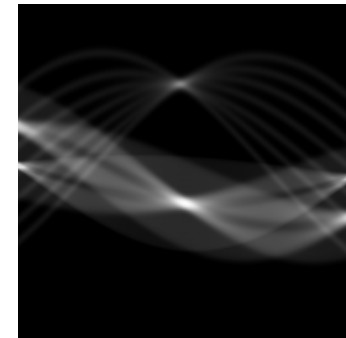
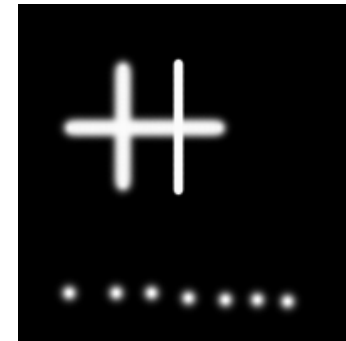
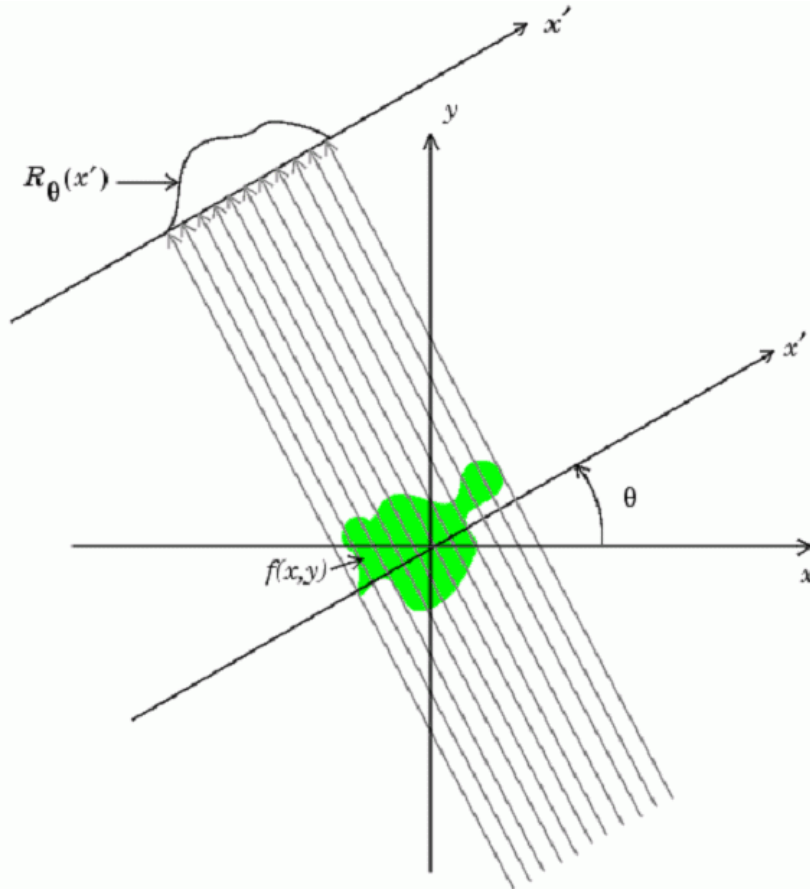


$$\ln(4)/\ln(2) \approx 1.261$$



Плоско-параллельная проекция изображения

$$R_{\theta}(x') = \int f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy'$$



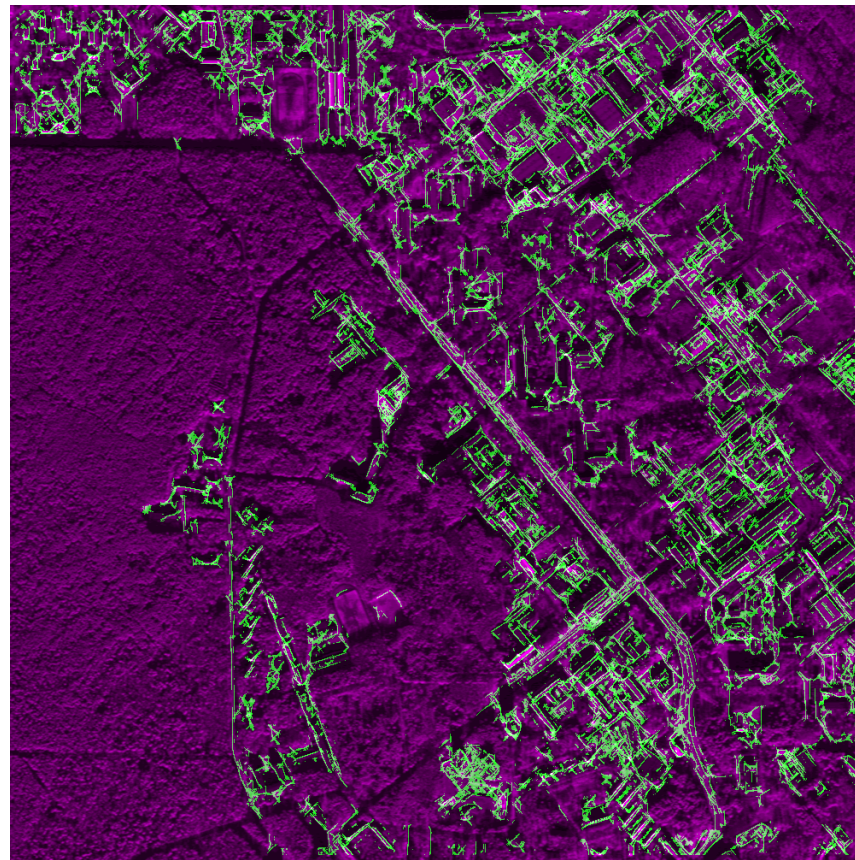
Особенностью антропогенных зон является наличие объектов с правильными очертаниями.



Поиск прямолинейных границ



Исходное изображение

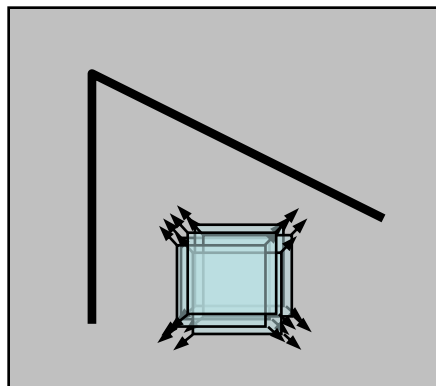


Результат поиска
(с наложением на исходное изображение)

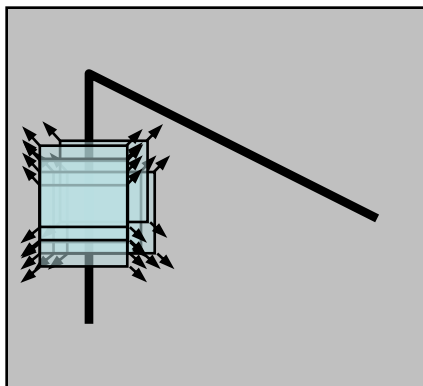


Классификация изображений с использованием детекторов Харриса

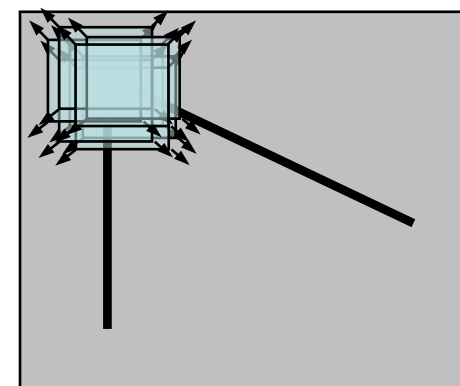
Обнаружение точечных особенностей по окрестностям пикселей



изотропная окрестность



окрестность типа «край»



окрестность типа «угол»

$$E(u, v) = \sum_{\Omega(x, y)} [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \cong [u, v] \cdot M \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix},$$

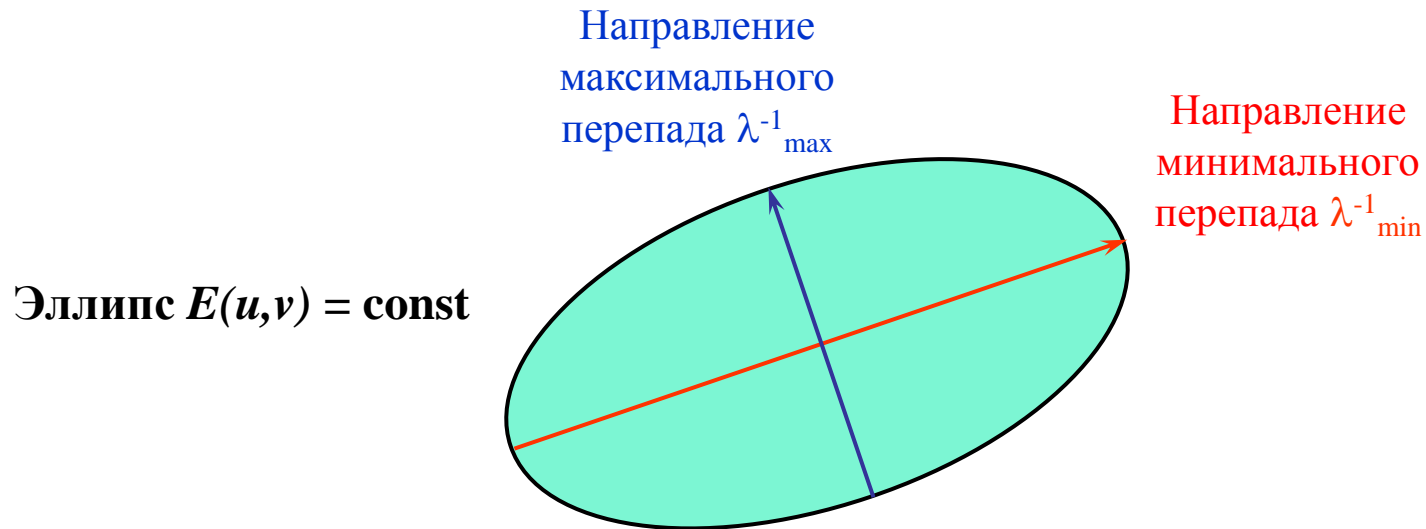
где $\Omega(x, y)$ - анализируемая окрестность, M - матрица производных изображения $I(x, y)$

$$M = \begin{bmatrix} \sum_{\Omega} (I_x)^2 & \sum_{\Omega} (I_x)(I_y) \\ \sum_{\Omega} (I_x)(I_y) & \sum_{\Omega} (I_y)^2 \end{bmatrix}$$



Классификация изображений с использованием детекторов Харриса

Анализ окрестности пикселей с использованием собственных значений λ_1 и λ_2 матрицы M



- окрестность изотропна при малых λ_1 и λ_2
- окрестность типа «угол» при больших и близких между собой λ_1 и λ_2
- окрестность типа «край» при большой разности между λ_1 и λ_2

Функция отклика «угол» $R = \det M - k(\text{trace } M)^2$

Функция отклика «край» $L = (\text{trace } M)^2 - 4\det M$

Особые точки i – точки локальных максимумов функции отклика.

Аномальные особые точки j – особые точки, значения которых превышают порог.



Пространственные тематические слои, количественно характеризующие найденные особые точки фрагмента:

- среднее значение функции отклика «угол» $F_4 = \langle R(x, y) \rangle_{\Omega_{x,y}}$;
- сумма локальных максимумов функции отклика «угол» $F_5 = \sum_i R(x_i, y_i)$;
- среднее значение локальных максимумов функции отклика «угол» (F_6);
- сумма значений лапласиана функции отклика «угол» в особых точках (F_7);
- среднее значение лапласиана функции отклика «угол» в особых точках (F_8);
- сумма значений лапласиана функции отклика «угол» в аномальных особых точках
 $F_9 = \sum_j \Delta R(x_j, y_j)$;
- среднее значение лапласиана функции отклика «угол» в аномальных особых точках
(F_{10});
- среднее значение лапласиана функции отклика «край» в аномальных особых точках
(F_{11}).



Обнаружение объектов неприродного происхождения с использованием пространственных признаков

Фрагменты класса «объект»

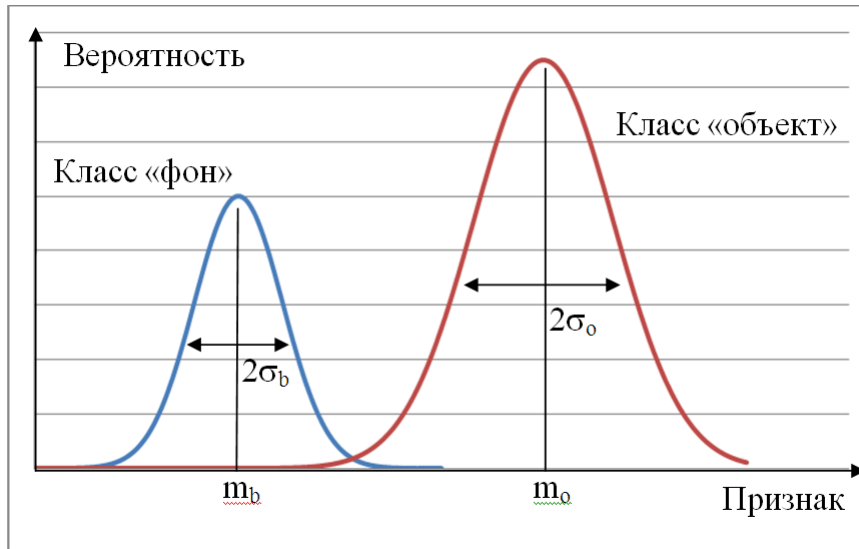


Фрагменты класса «фон»





Обнаружение объектов неприродного происхождения с использованием пространственных признаков



$$r_{ob} = \frac{|m_o - m_b|}{(\sigma_o + \sigma_b)}$$

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}
Среднее класса «фон», m_b	13931	26.6	2.39	3.1	45	11	56	12.9	59.8	12.9	36.7
Среднее класса «объект», m_o	11263	25.5	2.29	14.8	345	81	439	96.4	470	108	115.6
СКО класса «фон», σ_b	9270	5.9	0.034	3.08	38.7	7.4	48	9.4	56.4	9.6	42.9
СКО класса «объект», σ_b	3908	2.6	0.032	9.33	98.0	36.6	128	22.8	167	26.2	8.4
Нормализованное расстояние между классами, r_{ob}	0.20	0.13	1.59	0.94	2.20	1.59	2.18	2.59	1.83	2.66	1.54



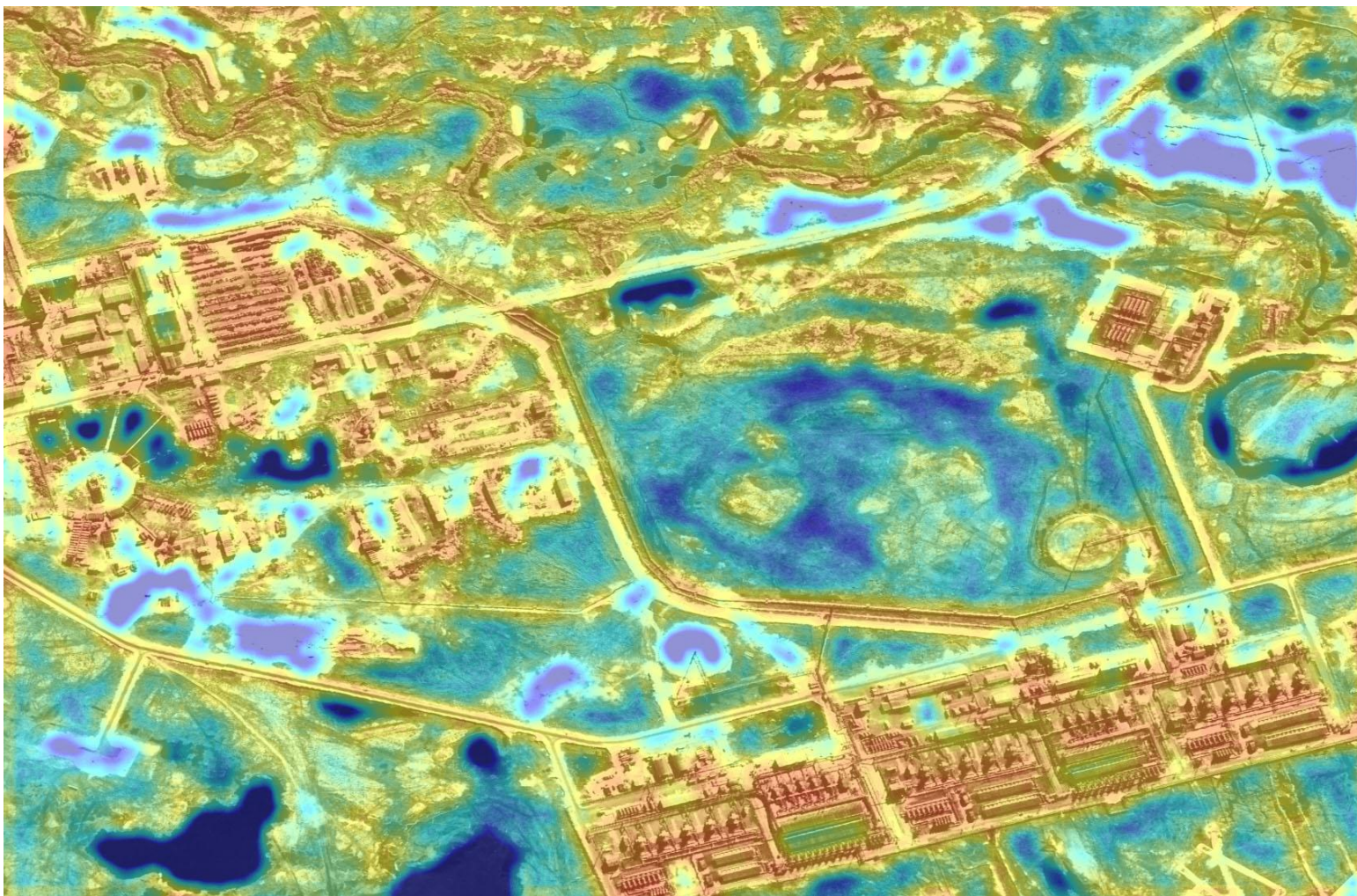
Обнаружение объектов неприродного происхождения



Исходное изображение



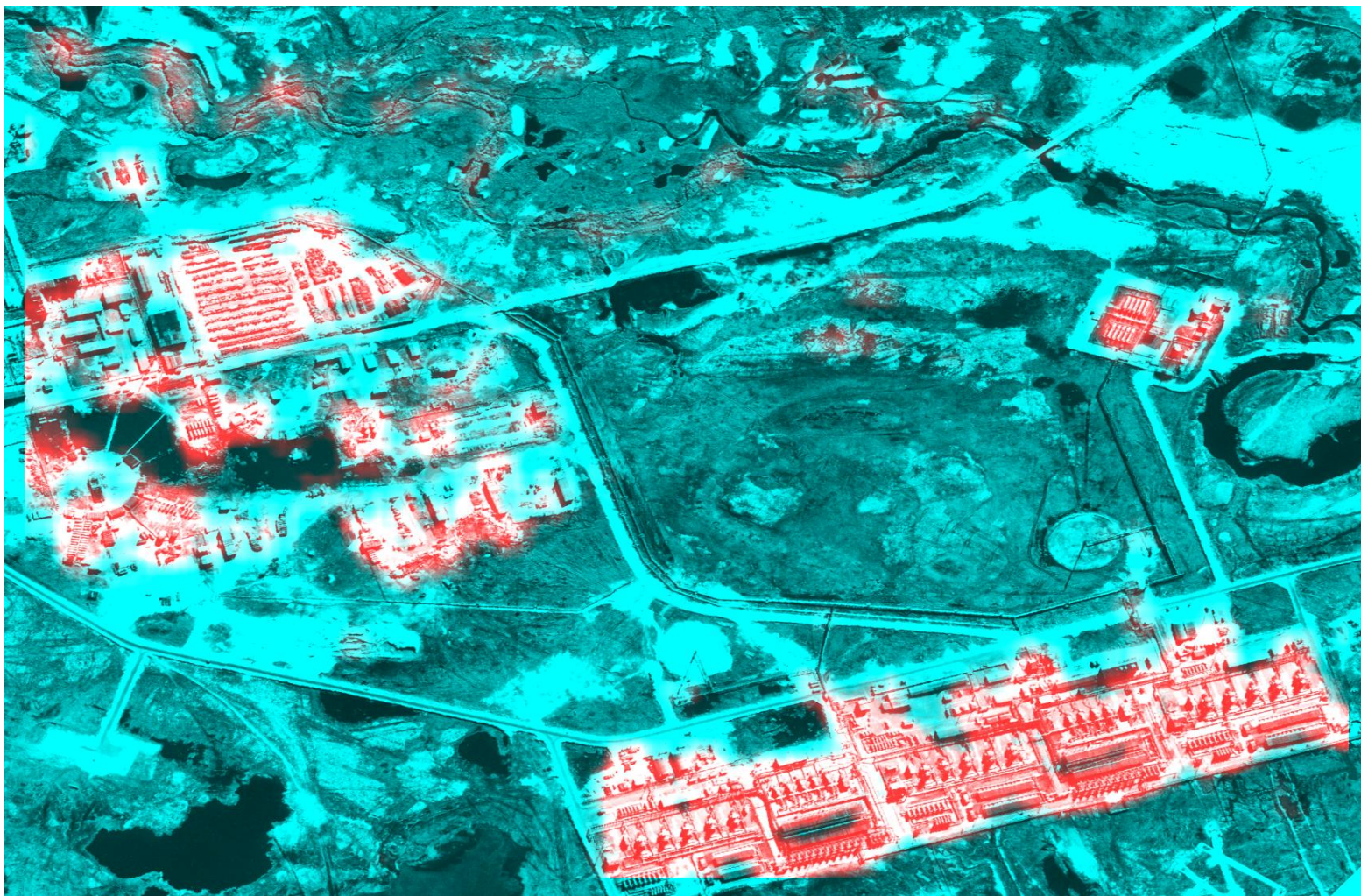
Обнаружение объектов неприродного происхождения с использованием фрактальной размерности



Результаты расчета фрактальной размерности



Обнаружение объектов неприродного происхождения с использованием детекторов Харриса



Результат поиска объектов неприродного происхождения

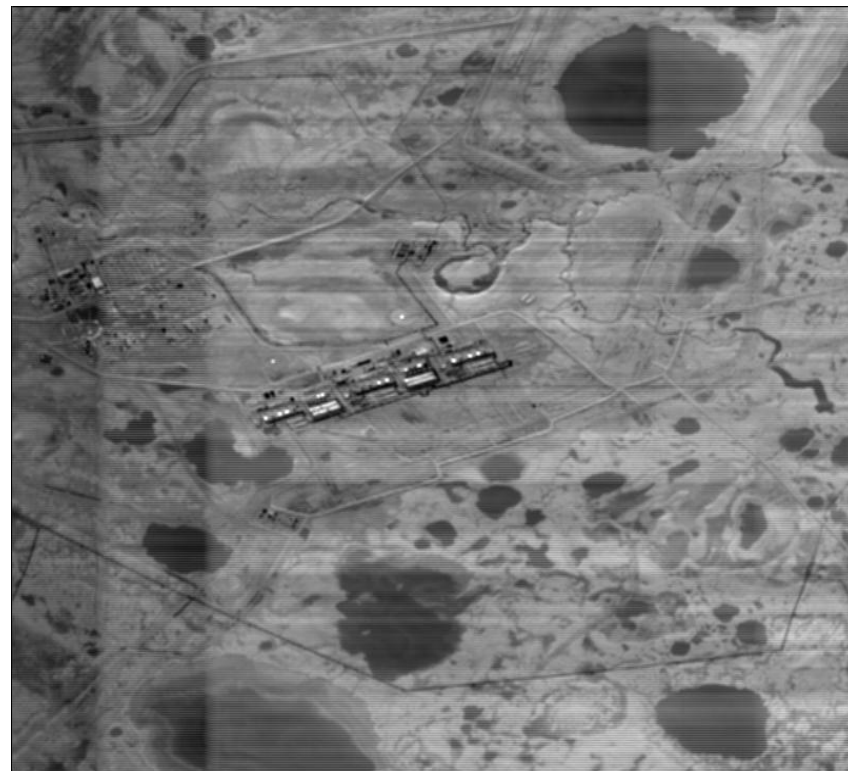


Этапы обработки

- Вычисление признаков локальных окрестностей изображения:
 - разность среднего значения центральной и периферийной частей окрестности пикселей;
 - разность среднего значения пространственного градиента яркости центральной и периферийной частей окрестности пикселей.
- Определение локальных максимумов в полученном поле признаков посредством адаптивной обработки скользящим окном.
- Расчет среднего значения и СКО распределения локальных максимумов по всему изображению, определение пороговых значений $(m + 3\sigma)$, пороговая обработка.



Изображение местности со сканирующего радиометра «Агрос»

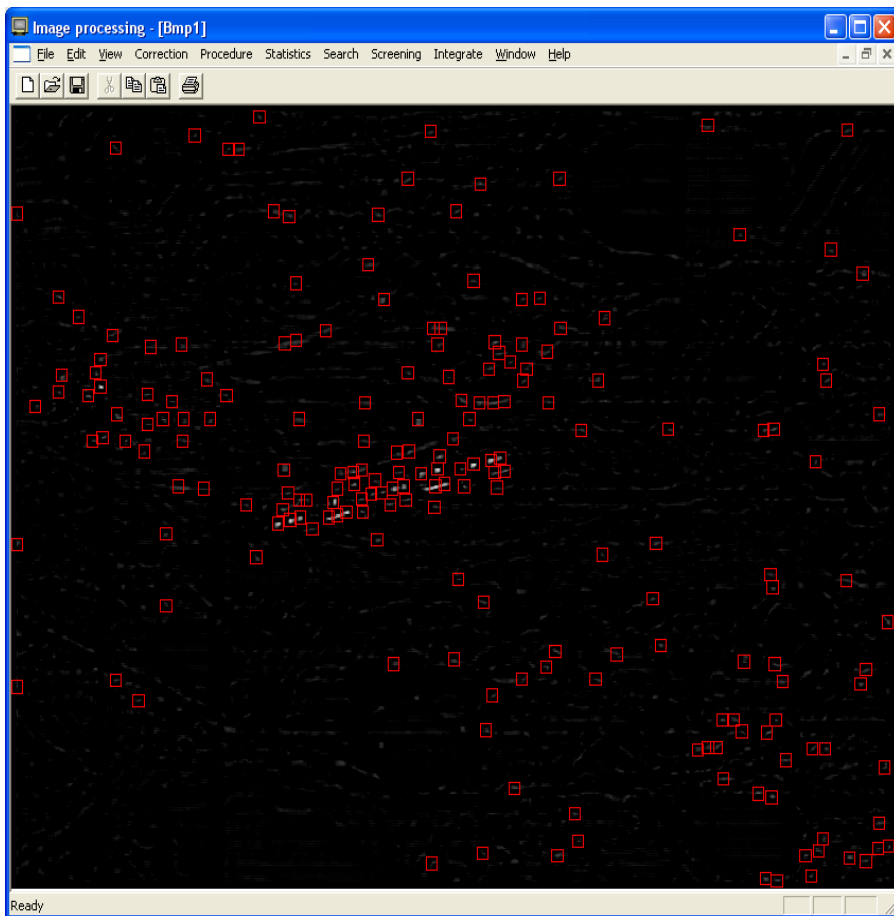


Спектральные диапазоны: 1.5-2.5 мкм, 8.0-12.0 мкм

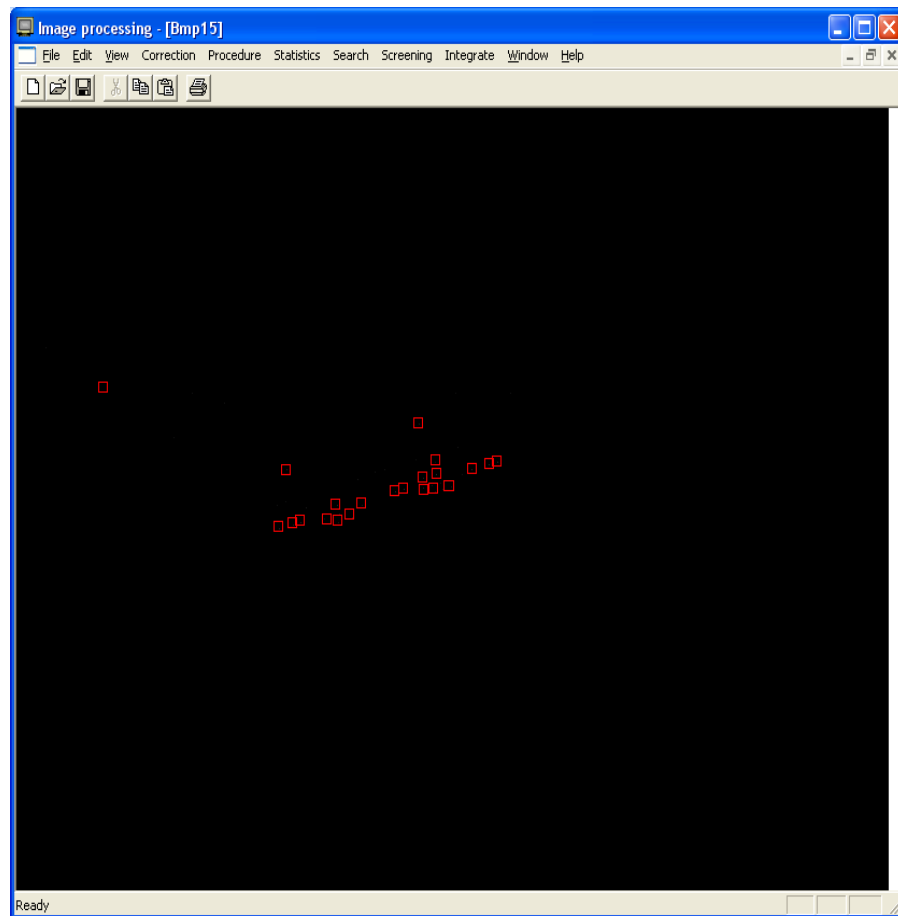


Обнаружение объектов неприродного происхождения с использованием теплового канала

Обнаружение локальных максимумов, определение пороговых значений, поиск аномалий



Обнаруженные локальные максимумы

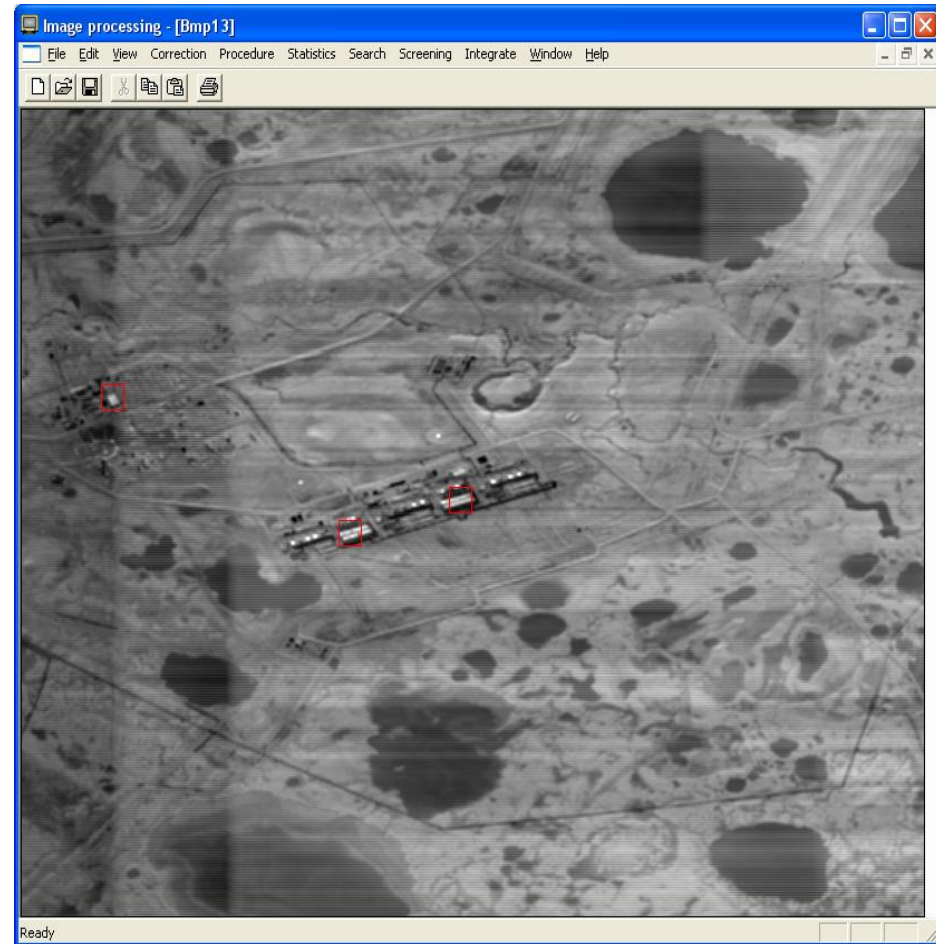
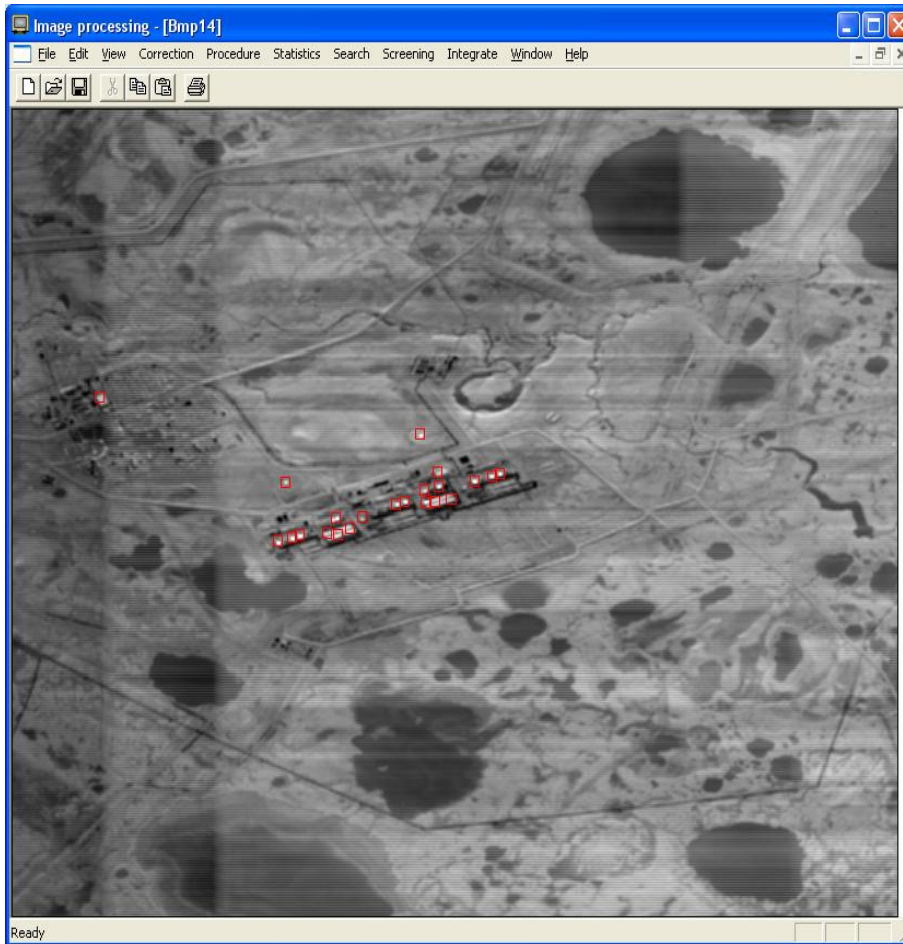


Локальные максимумы,
превышающие пороговое значение



Обнаружение объектов неприродного происхождения с использованием теплового канала

Результат поиска при различных размерах локальных окрестностей



Размер локальных окрестностей (зон анализа): 9x9, 21x21 пикселей



Спектральные тематические слои

Нормализованный относительный вегетационный индекс

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Нормализованный относительный водный индекс

$$NDWI = \frac{G - MIR}{G + MIR}$$

Обобщённый индекс теней

$$SGI = B - PC_1$$

Обобщённый индекс оголённых почв

$$BGI = -B \cdot PC_3 \cdot 10^{-5},$$

«Водонепроницаемые» поверхности (покрытия дорог, крыш и т.п.)

$$PC_2$$

где R, G, B - яркость в красном, зеленом и синем каналах,
 PC_1, PC_2, PC_3 - значения первой, второй и третьей главных компонент.



Главные компоненты изображения со спутника QuickBird (спектральные каналы R,G,B,NIR)



PC1



PC2



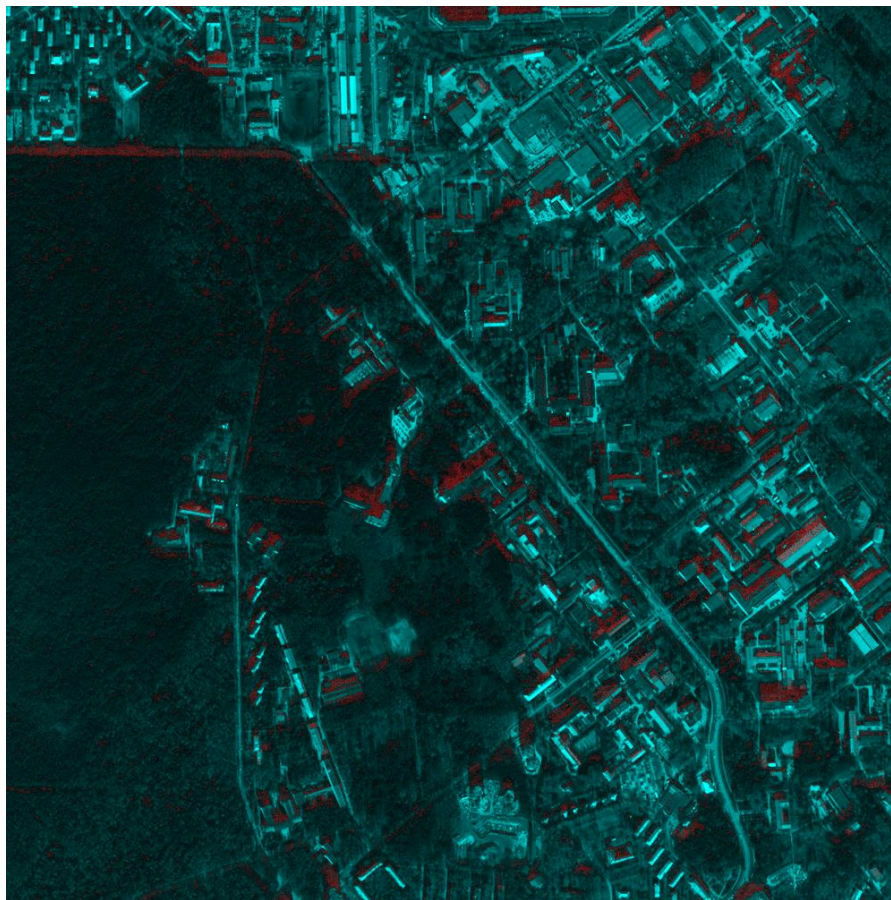
PC3



PC4



Поиск затененных зон



Обобщённый индекс теней SGI
(с наложением на исходное изображение)



Разделение объектов искусственного и естественного происхождения:

Спектральные признаки:

- NDVI – вегетационный индекс;
- NDWI – индекс влагосодержания;
- SGI – обобщенный индекс теней.

*Пространственные признаки локальной
окрестности:*

- D – дисперсия;
- Dif – среднее значение лапласиана функции отклика «угол» в аномальных особых точках.



Исходное изображение (каналы R,G,B)

Решающая функция:

$$F(x, y) = \begin{cases} (1 - \text{NDVI}) \cdot (1 - \text{NDWI}) - \text{SGI}, & \text{при } D > P_1 \text{ \& } \text{Dif} > P_2, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

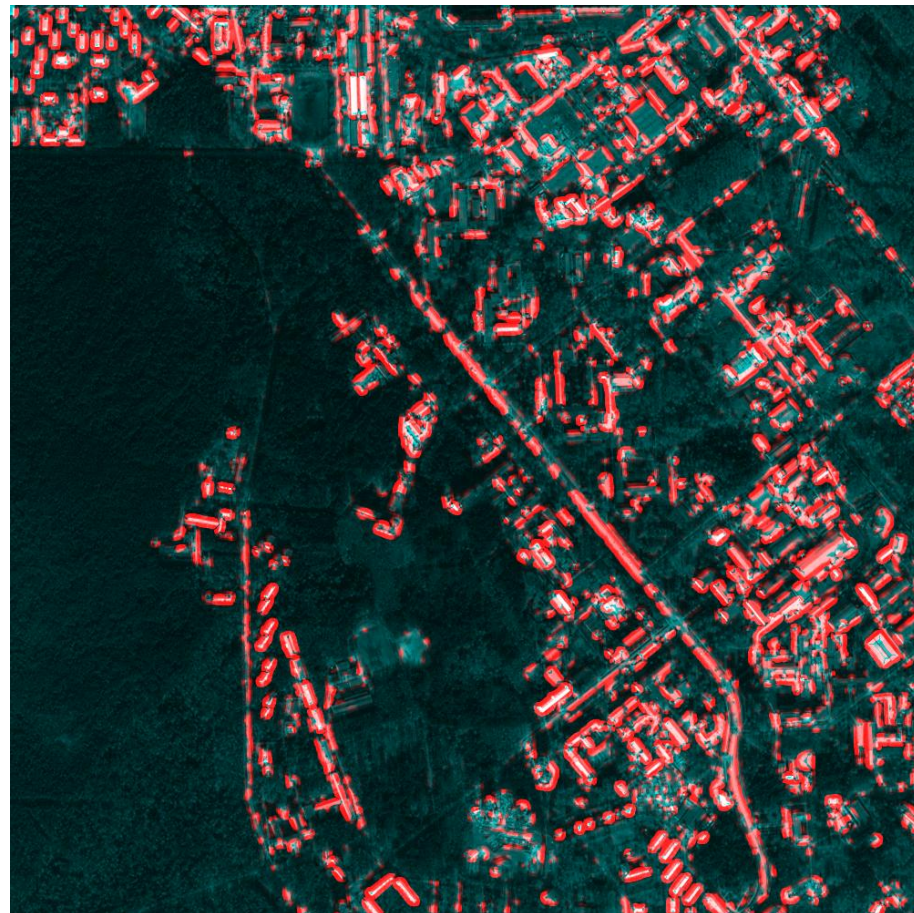


Комплексный анализ тематических слоев при поиске объектов не природного происхождения

Обнаружение особых точек с использованием детекторов Харриса



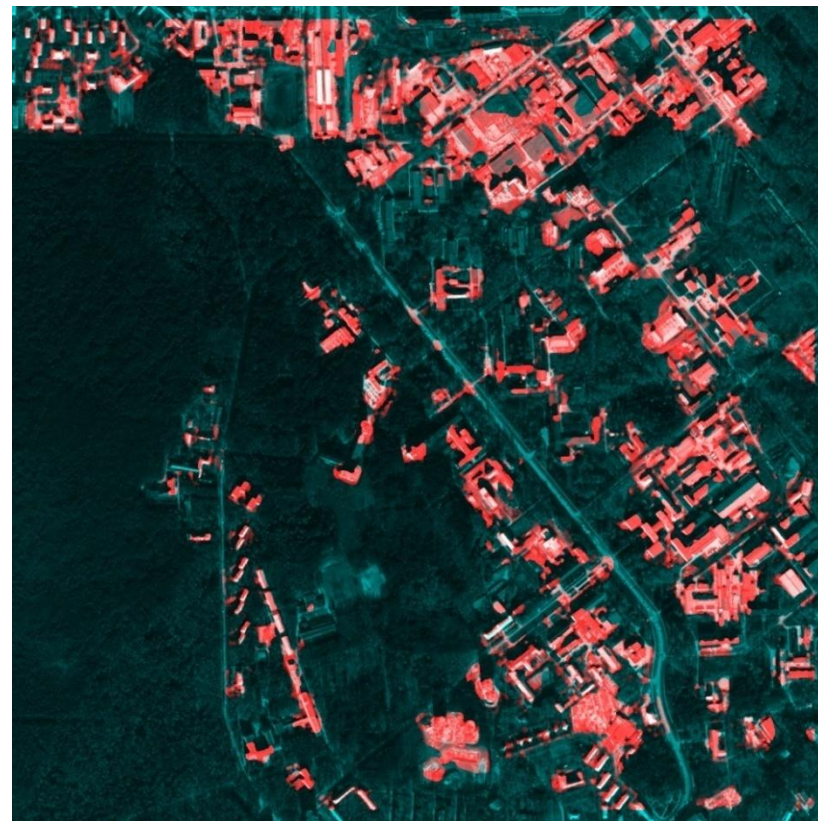
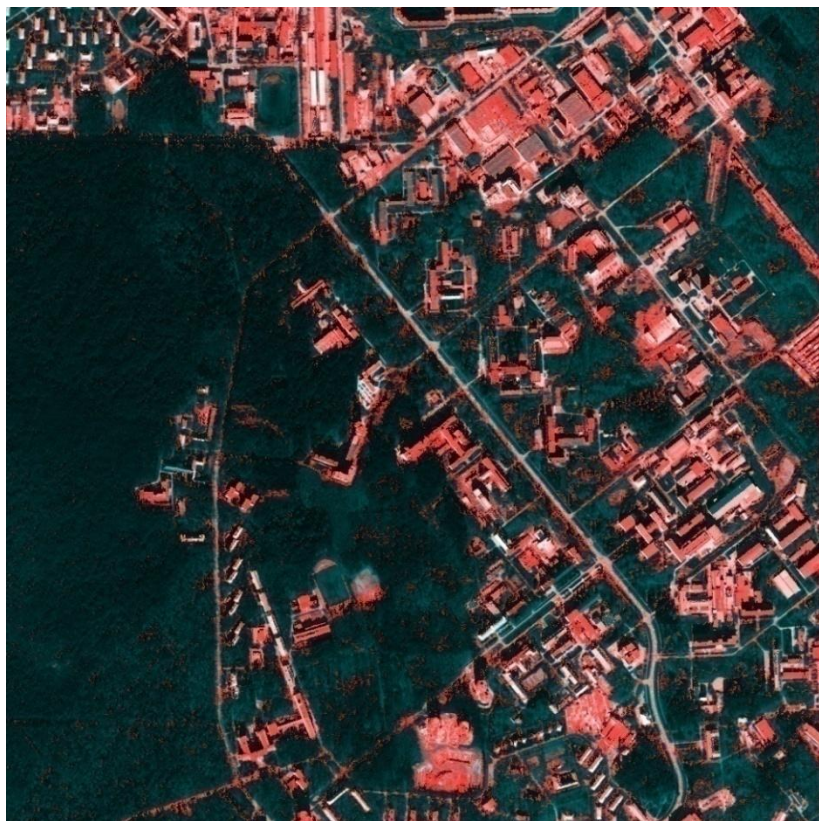
Особые точки «угол»



Особые точки «край»



Результаты поиска зданий



На основе спектральных признаков

На основе спектральных и
пространственных признаков

При комплексной обработке спектральных и пространственных признаков

- количество ложноположительных решений (ложная тревога) снижается в два раза при незначительном (менее 20%) увеличении ложноотрицательных (пропуск цели);
- доля правильно классифицируемых пикселей увеличивается с 84% до 95%.



Заключение

- Исследованы методы описания пространственной структуры космических изображений местности применительно к задаче поиска объектов неприродного происхождения, в частности зданий, на снимках земной поверхности высокого разрешения.
- Показано, что классификация типов фрагментов может быть эффективно выполнена как на основе вычисления фрактальной размерности, так и путем выделения и анализа точечных особенностей сцены. Для оценки антропогенности фрагментов предложены критерии, количественно характеризующие как число, так и параметры особых точек.
- Лучшее разделение фрагментов классов «фон» и «объект» достигнуто с помощью критерия на основе среднего значения лапласиана функции отклика Харриса в аномальных локальных максимумах.
- Показано, что совместный анализ спектральных и пространственных тематических слоев позволяет снизить количество ложноположительных решений в два раза при незначительном (менее 20%) увеличении ложноотрицательных, при этом доля правильно классифицируемых пикселей увеличивается с 84% до 95%.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!