



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»**  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

факультет «Информатика и системы управления»  
кафедра «Системы автоматического управления»(ИУ-1)

# **Исследование метода визуальной навигации по векторной карте в задаче автоматической посадки на Луну**

А.В. Бобков    Сюй Ян

Москва 2019г.

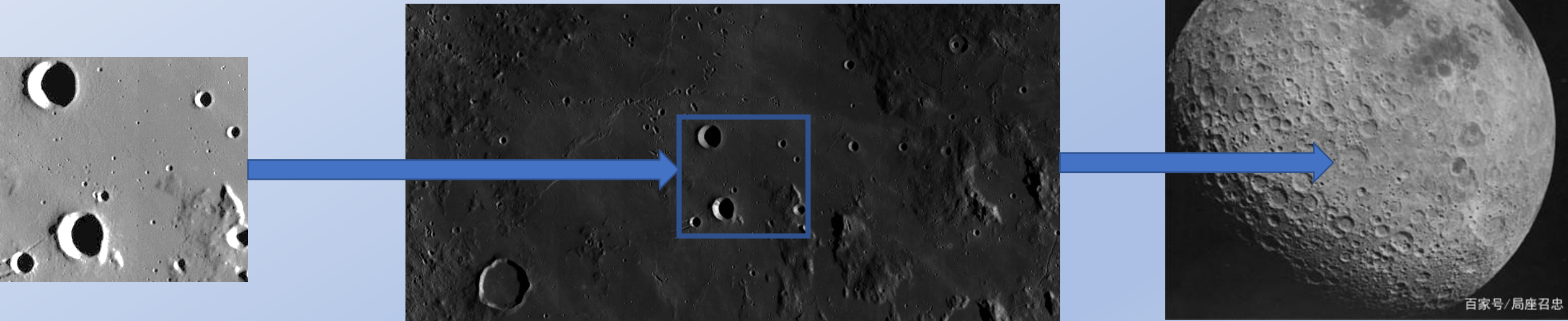
## Постановка задач:

В работе рассматриваются вопросы разработки метода сопоставления изображений на основе обобщенного преобразования Хафа в задаче визуальной навигации при автоматической посадке на Луну.

В основе работы системы используется преобразование Хафа.

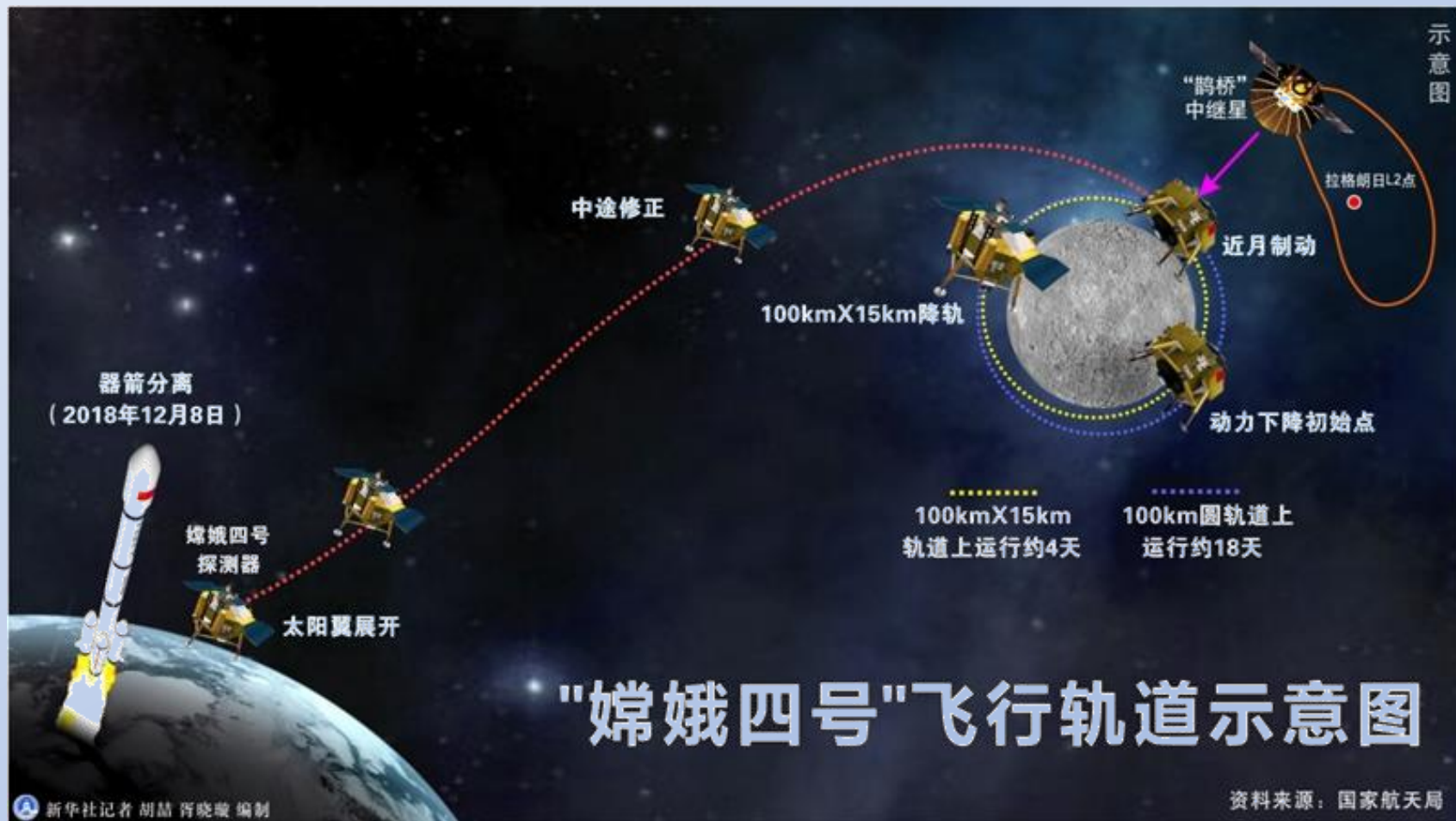
**Цель работы** повышение точности посадки (до десятков метров) для решения современных задач освоения Луны:

- исследование областей интереса
- развертывание и снабжение обитаемой базы



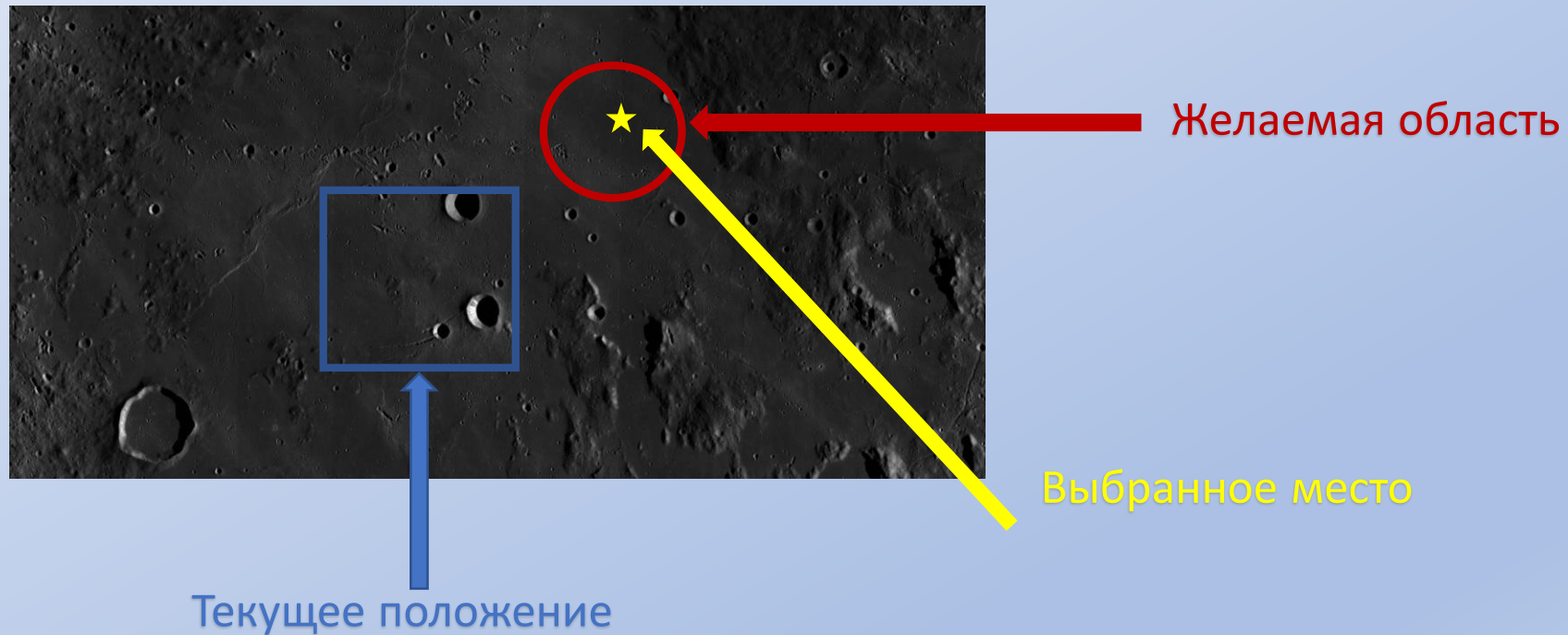
## Этапы посадки :

- Оптимальное торможение
  - используется инерциальная система навигации
- Достижение места посадки
  - определение положения и выбор места посадки с использованием системы технического зрения
- Вертикальный спуск
  - используется дальномер



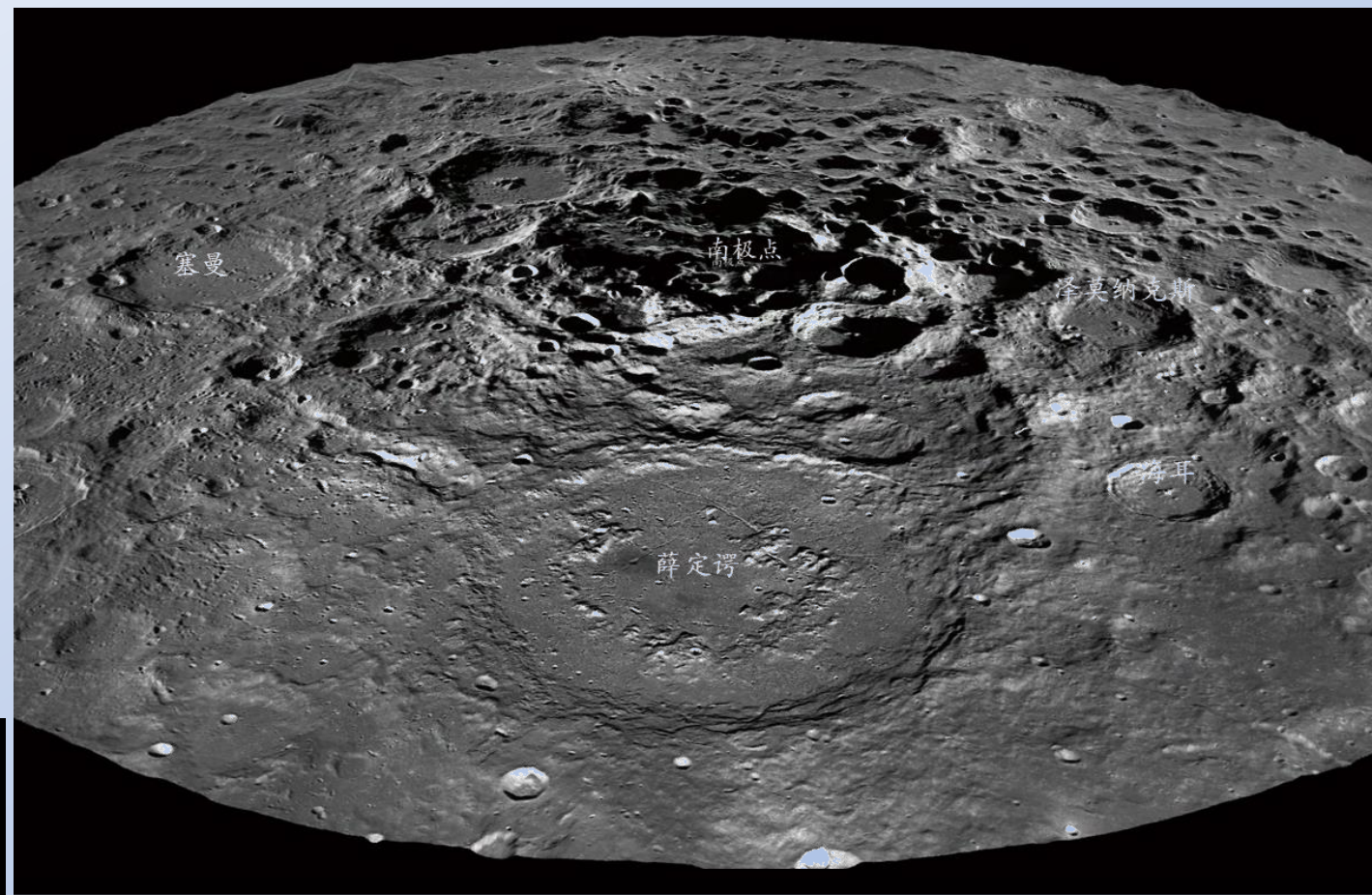
## Для достижения места посадки нужна система технического зрения:

- Определить собственное положение аппарата по наблюдаемому изображению
- Определить положение желаемой области посадки
- Выбрать место посадки внутри желаемой области



# Существующие подходы для решения задачи распознавания

- Спектральные методы
- Методы на основе детектора кратеров
- Методы машинного обучения и нейронные сети
- Контурные методы на основе преобразования Хафа



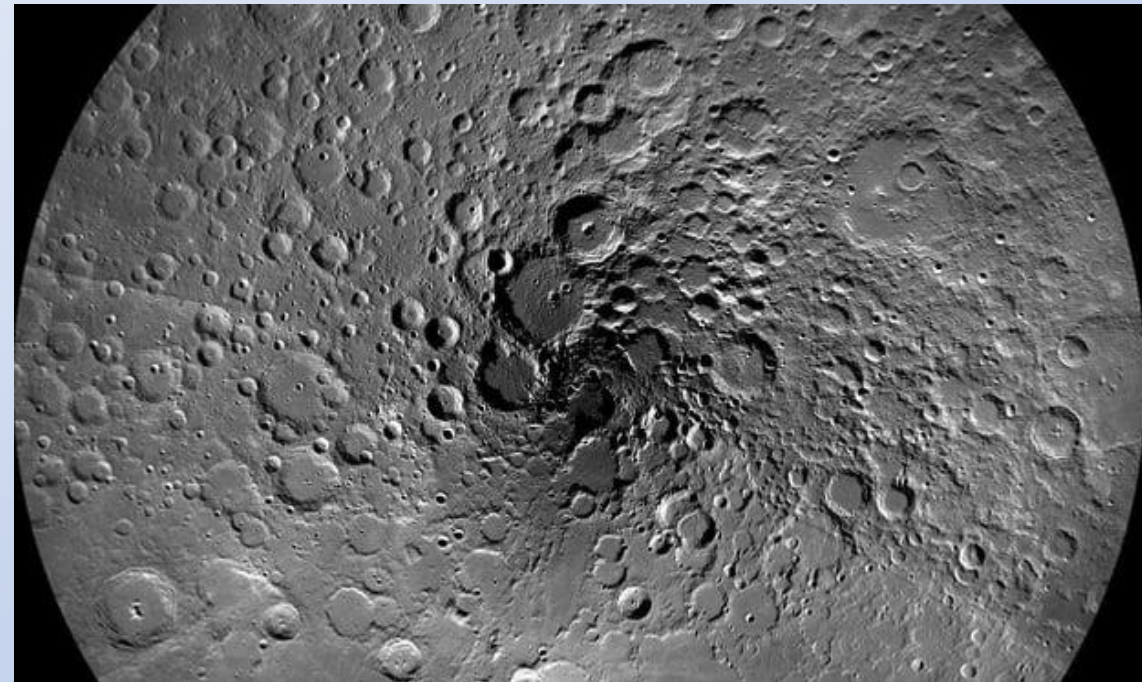
南极三维景观图

South Pole

月球的南极，具有较为复杂的地形，由于月球的自转轴与太阳仅有略微的倾斜，从而导致了月球的极区存在着永久光照区和永久阴影区，永久光照区的存在为将来建立月球基地提供了便利条件，而永久阴影区内的月壤下面则可能含有水冰。



© Copyright 2007 CLEP/CE-1. All Rights Reserved.



## Предлагаемый подход – обобщенное преобразование Хафа

- Не требует выделения признаков (нужно только точки границ).
- Устойчиво к изменениям освещённости из-за перемещения Солнца
- Обладает высокой скоростью работы
- Позволяет использовать компактную векторную карту

# Расчетная схема обобщённого преобразования Хафа

1. Выделить точки контура
2. Для каждой точки контура  $A$  с известным градиентом  $G_A$ 
  - Для каждой окружности карты с центром в точке  $O$
  - Вычислить гипотезу:

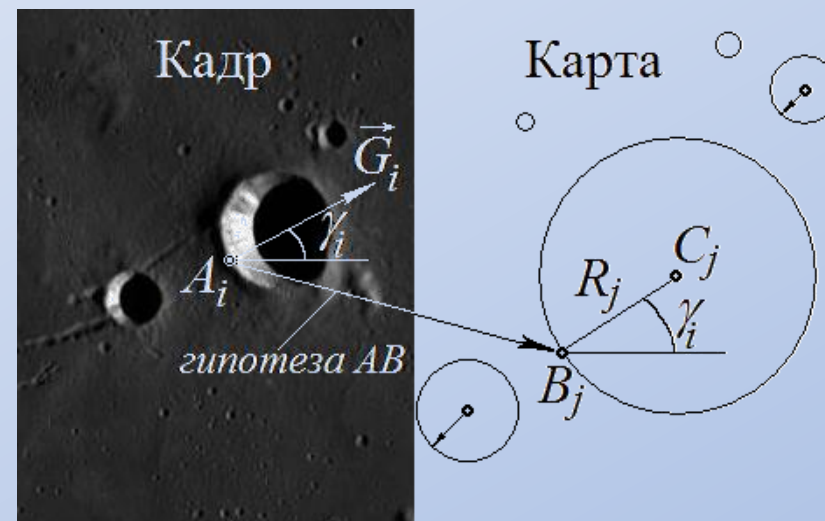
$$\Delta x = x_0 + R \cdot \cos \gamma - x_a$$

$$\Delta y = y_0 + R \cdot \sin \gamma - y_a$$

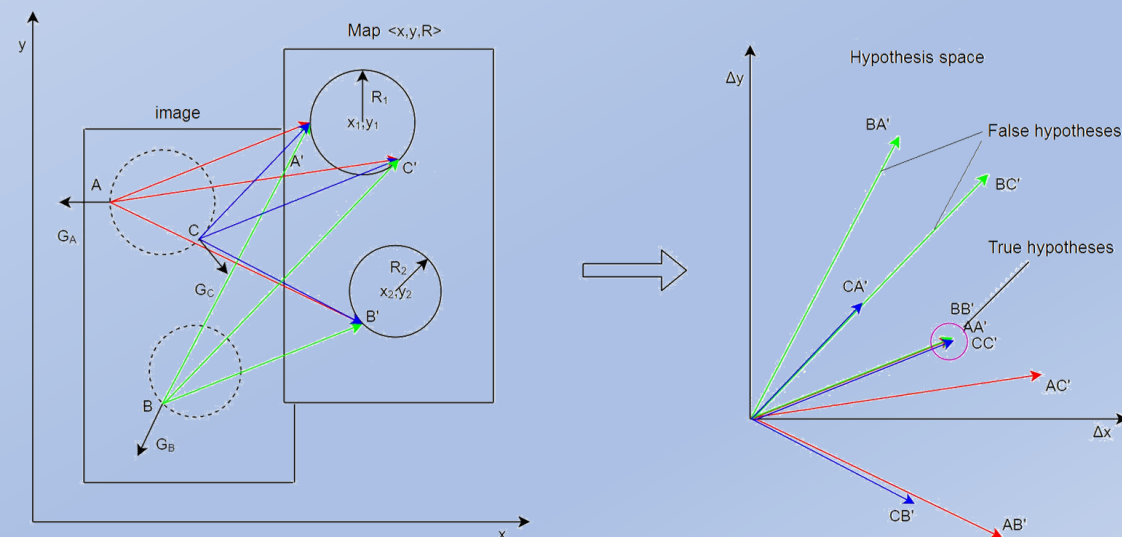
-Отметить гипотезу  $(\Delta x, \Delta y)$  в ПП

3. Находим максимум  $H^*(\Delta x^*, \Delta y^*)$  в ПП

Максимум соответствует положению кадра на карте.



а) Схема вычисления гипотез о совпадении точки гребня кратера на кадре и карте



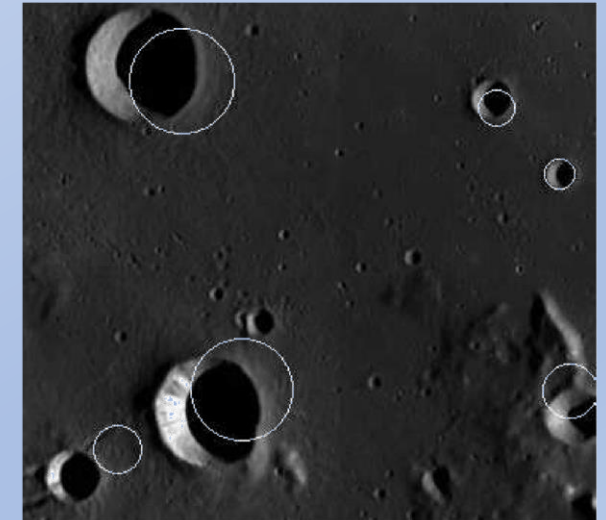
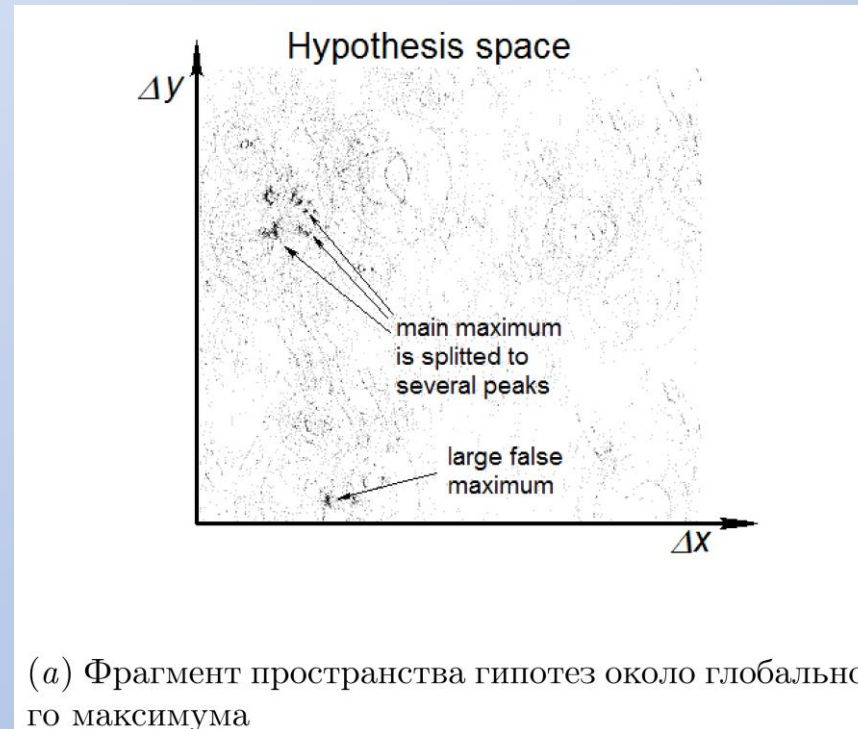
б) Схема вычисления откликов в пространстве гипотез

# Недостатки обобщённого преобразования Хафа

**Недостаток** – чувствительность к изменению ракурса съёмки и искажением форма кратеров.

## Способы повышение точности и надёжности

- Учет направления градиента
- Восстановление максимума
- Обработка границу
- Нормирование

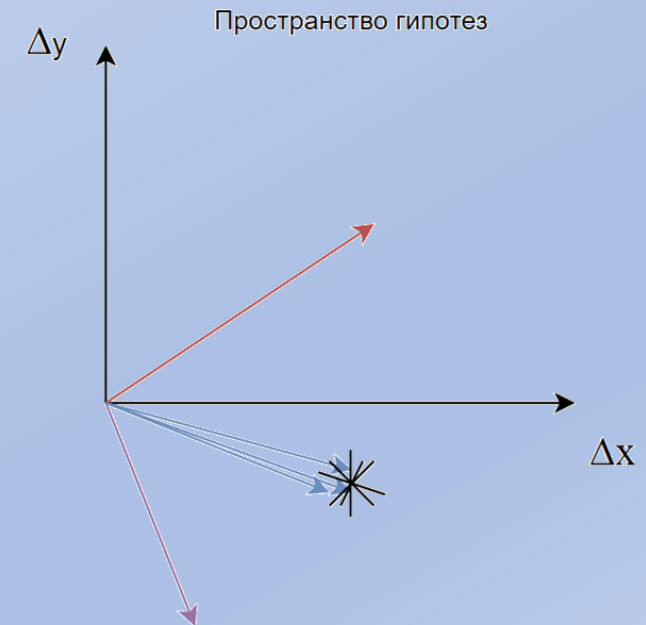
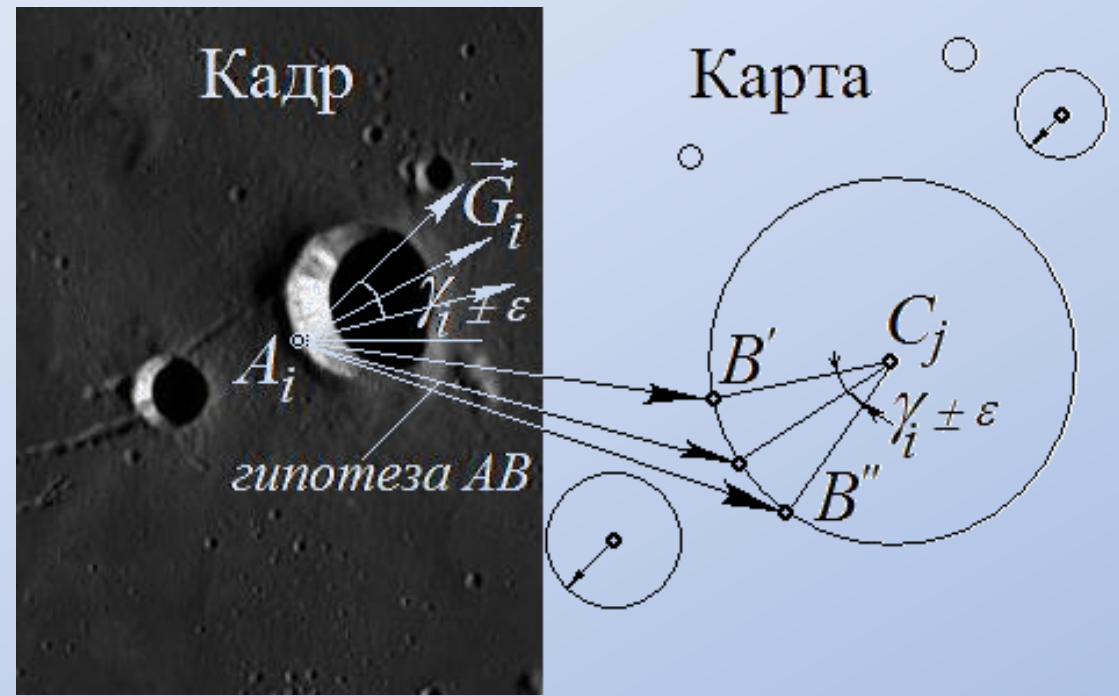


(б) Наложение карты на кадр в найденном положении

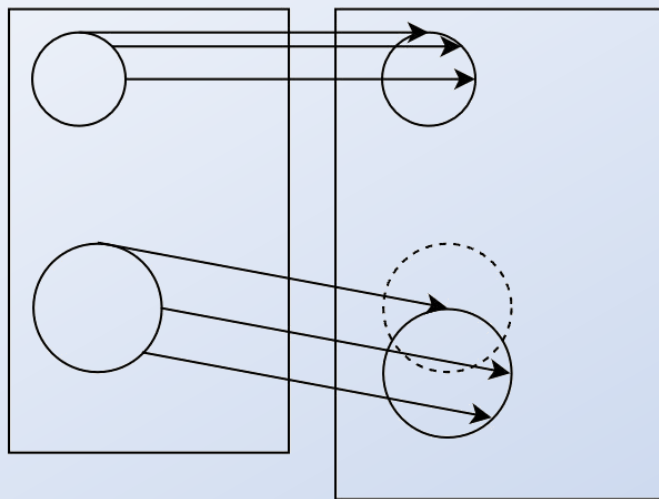


## Учет направления градиента

- Позволяет учесть неточность вычисленного градиента.
- Каждая точка теперь порождает не одну гипотезу, а несколько, для диапазона возможных изменений градиента.
- Усиливает отклик больших кратеров.
- Снижает влияние шума.

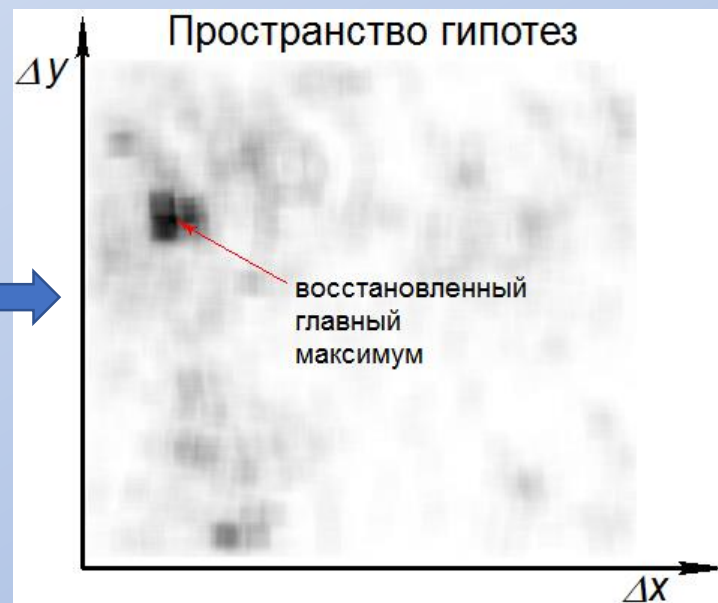


# Восстановление максимума



Из-за разных масштабов и ориентации форма максимума изменяется:

Он разбивается на набор меньших максимумов.



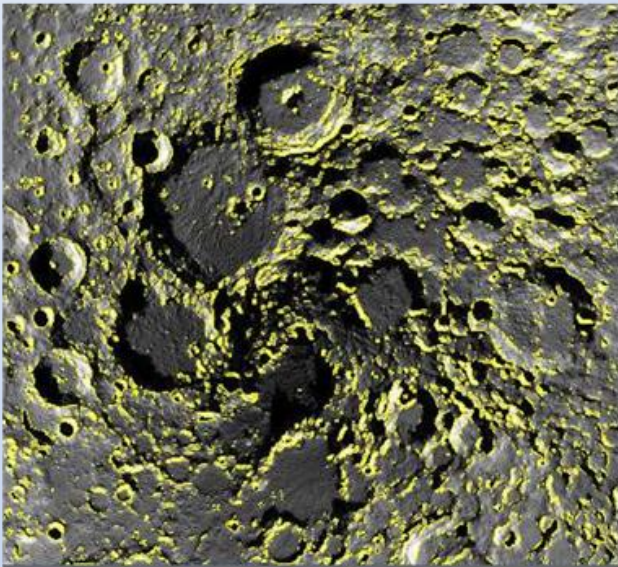
Для восстановления формы и величины максимума, можно использовать суммирование по скользящему окну.

# Обработка границу

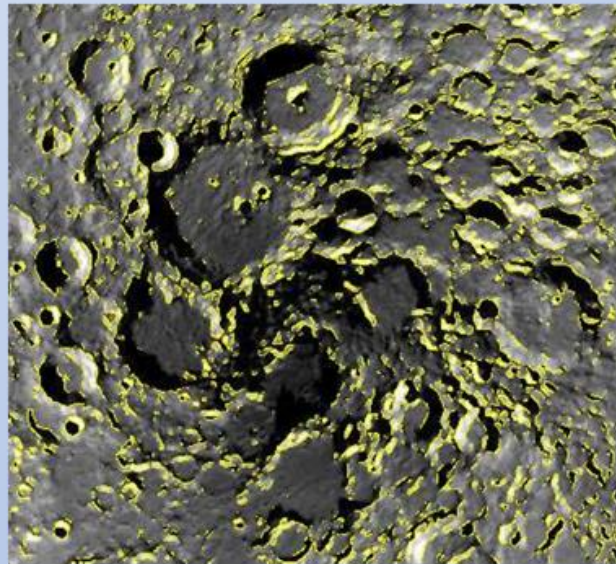
- Медианный фильтр
- Морфологический фильтр

Позволяет:

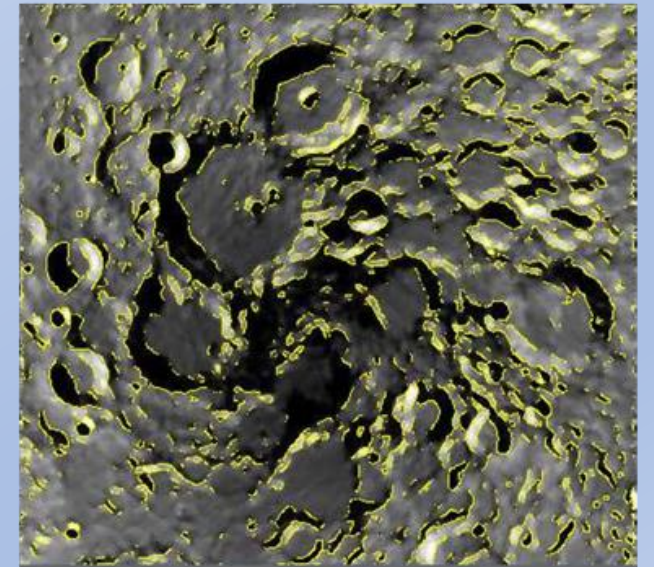
- Убрать шум
- Убрать мелкие элементы
- Скруглить неровные кратеры



(а) границы без фильтра



(б) фильтр  $3 \times 3$



(в) фильтр  $5 \times 5$

# Нормирование пространства гипотез

Чувствительность к шуму может быть снижена нормированием откликов.

Нормирование позволяет снизить отклики в областях изображения с большим количеством точек и повысить – в областях с меньшим количеством.

$$H'[\Delta x, \Delta y] = \frac{H(\Delta x, \Delta y)}{\sqrt{\sum_x \sum_y I(x + \Delta x, y + \Delta y)} \cdot \sqrt{\sum_x \sum_y S(x, y)}}$$

где  $H(\Delta x, \Delta y)$  – исходное пространство поиска,

$\sqrt{\sum_x \sum_y I(x + \Delta x, y + \Delta y)}$  – количество точек границ фрагмента карты,

$\sqrt{\sum_x \sum_y S(x, y)}$  – количество точек границ образца.

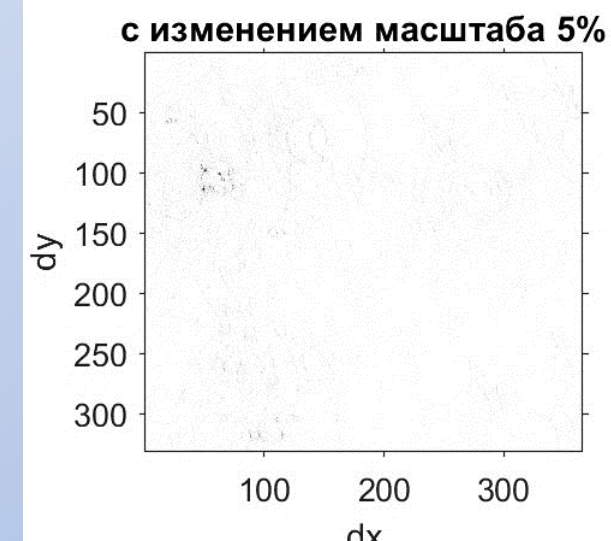
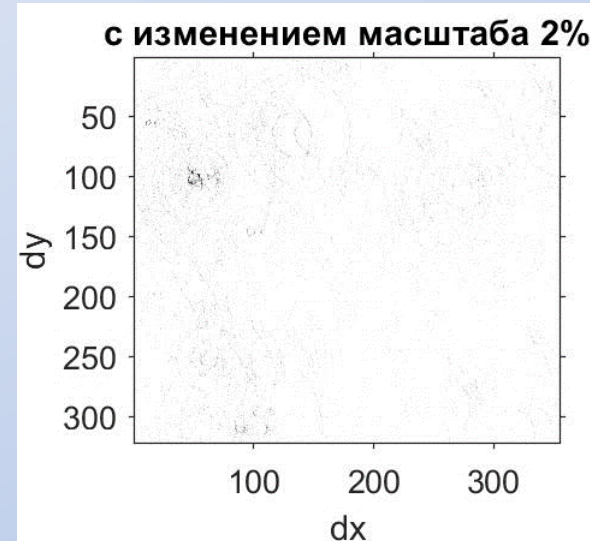
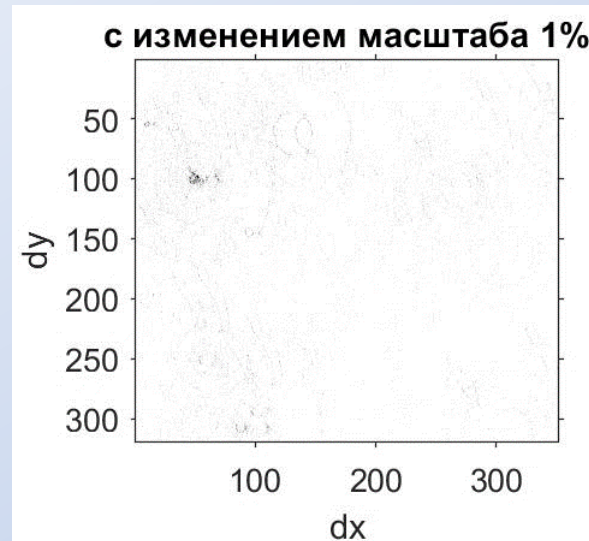
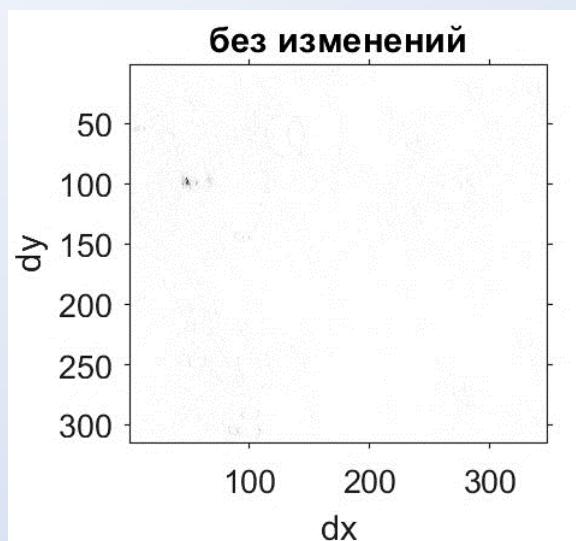
Нормированные отклики получают смысл вероятности нахождения кадра в данной области.

# Эксперименты

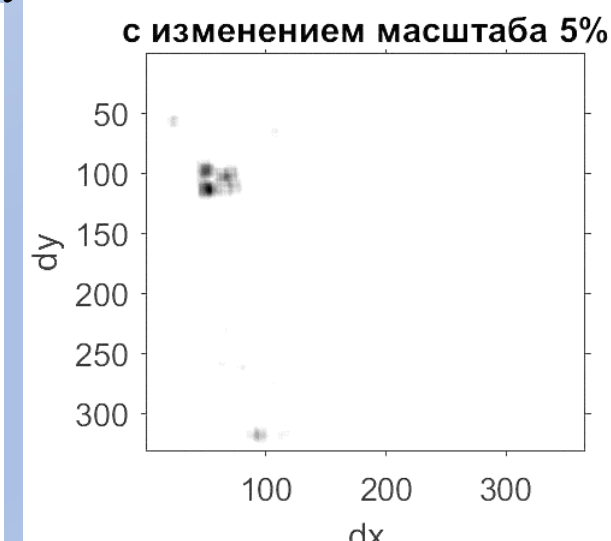
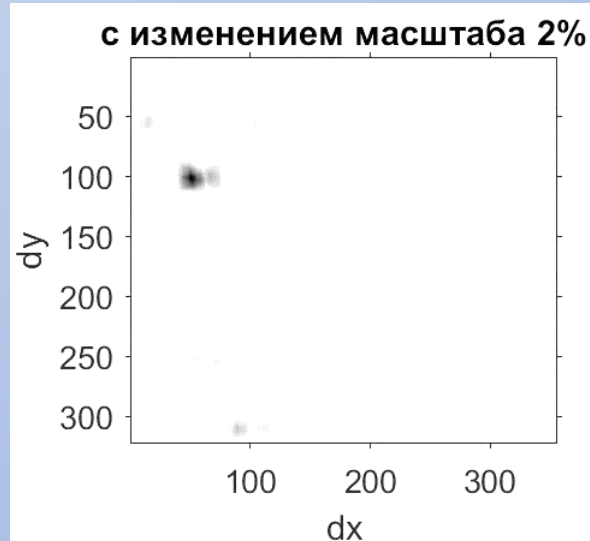
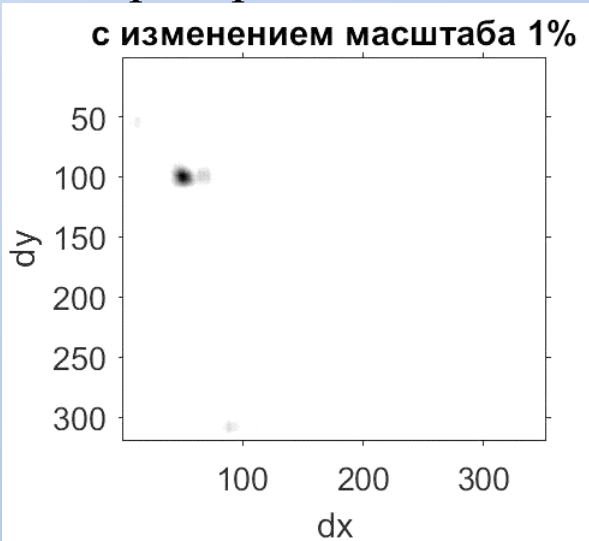
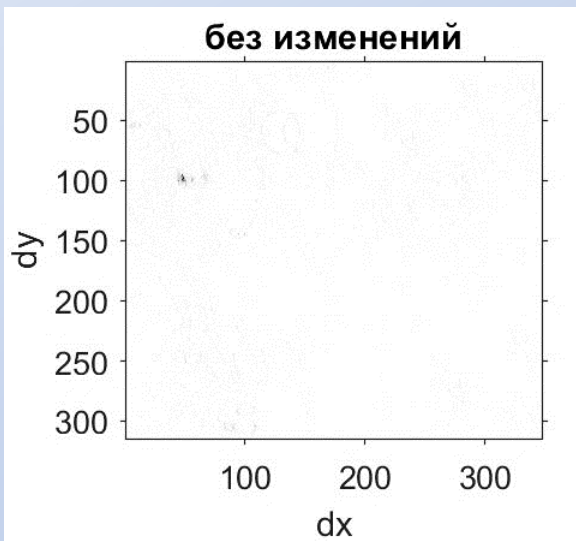
- Исследование влияния изменения масштаба
- Исследование влияния поворота
- Исследование влияния при изменениях яркости
- Исследование влияния шума

# Исследование влияния изменения масштаба

## Пространство гипотез без коррекции

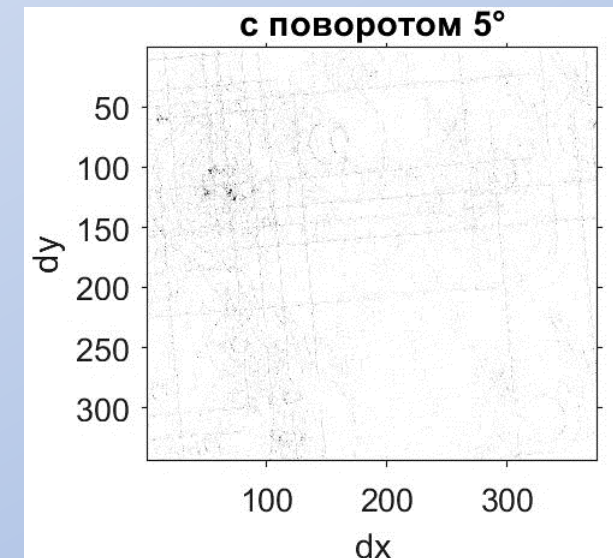
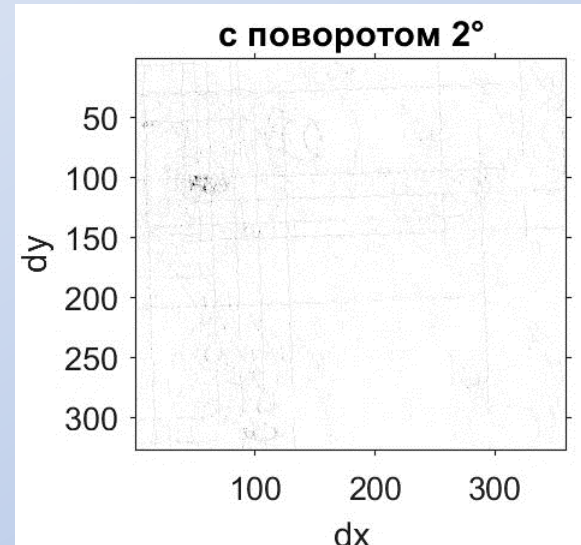
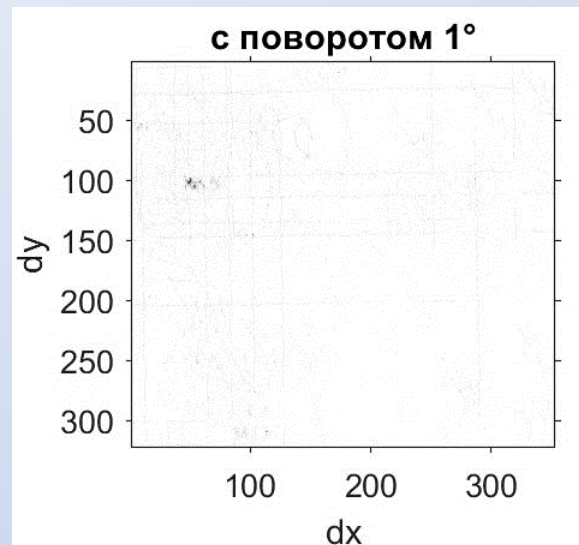
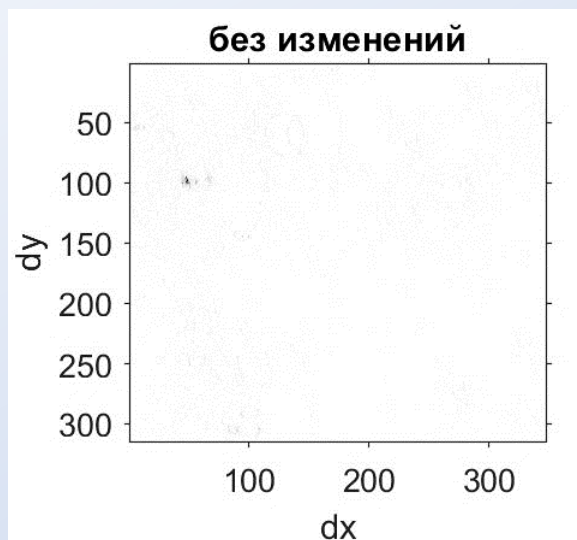


## Пространство гипотез с восстановлением максимума

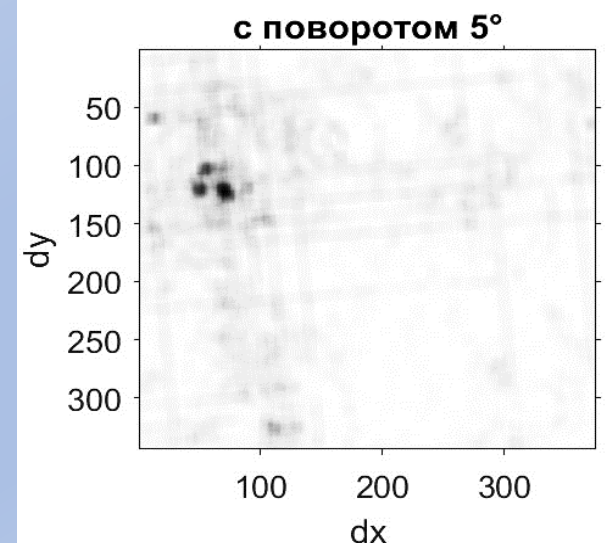
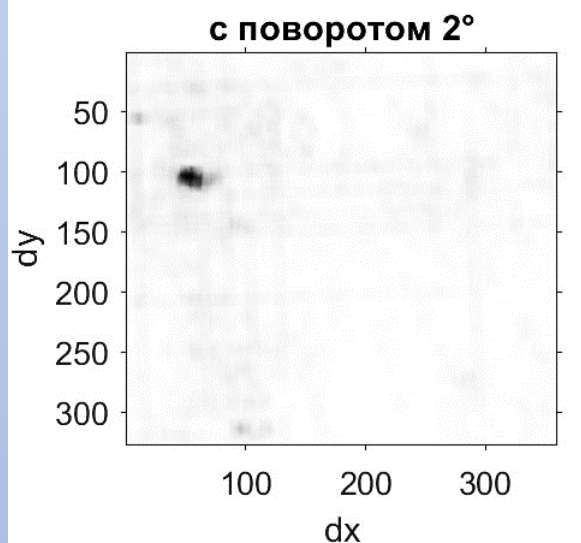
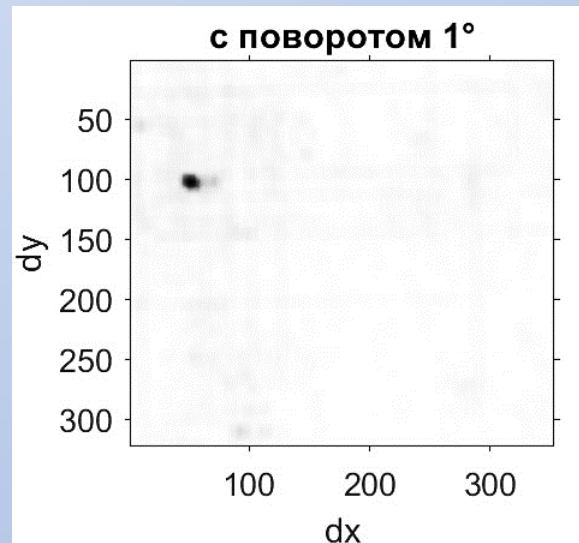
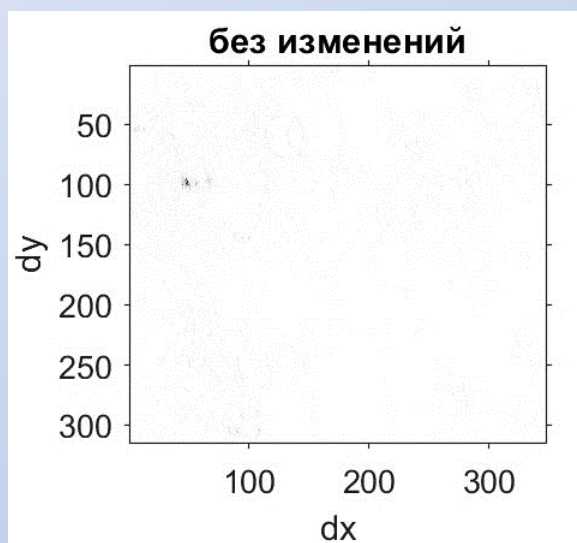


# Исследование влияния поворота

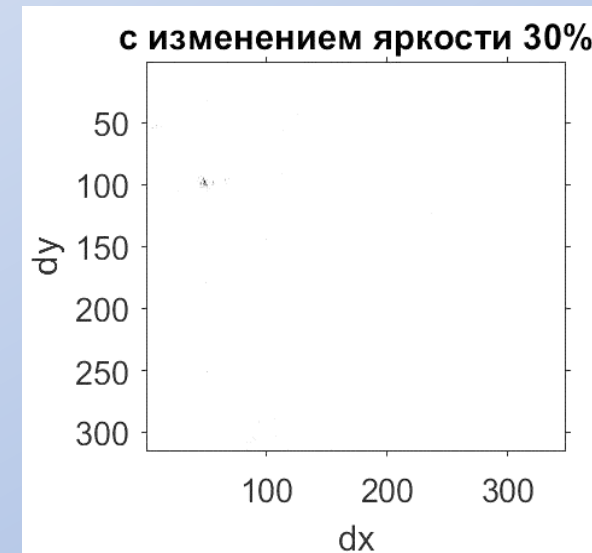
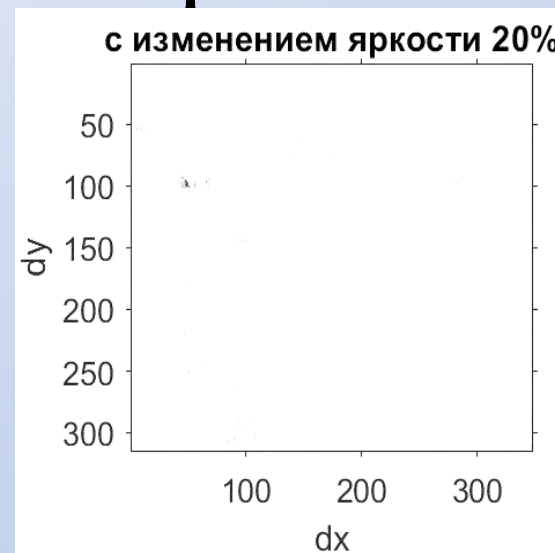
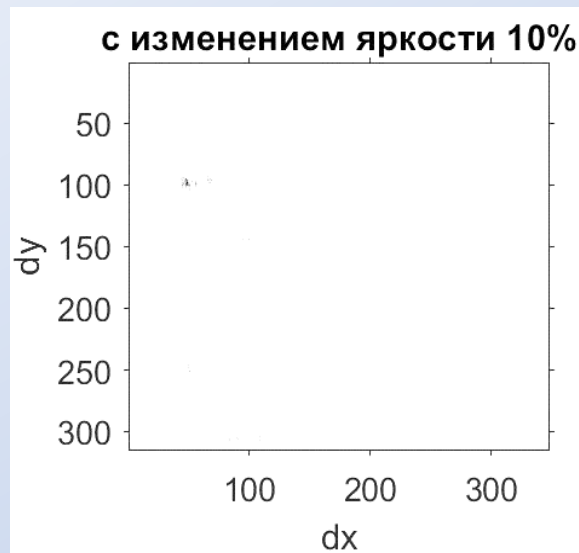
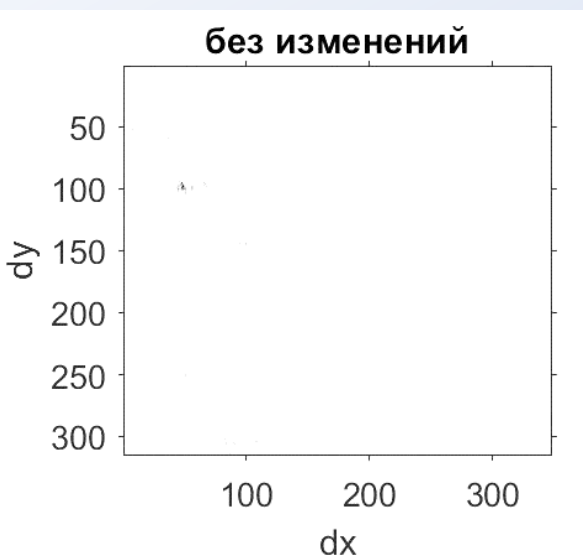
## Пространство гипотез без коррекции



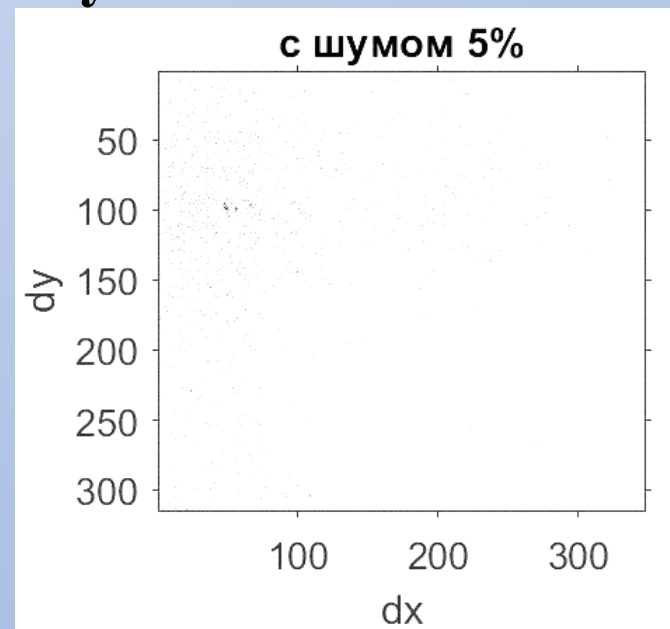
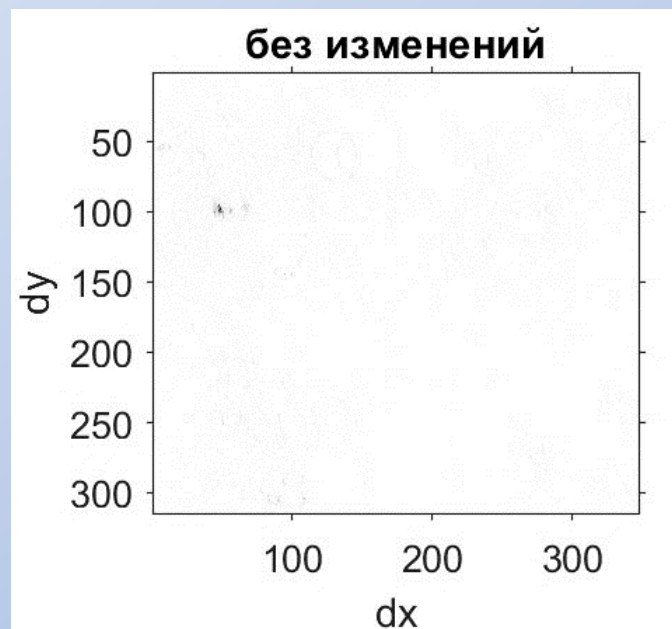
## Пространство гипотез с восстановлением максимума



## Влияние изменения яркости

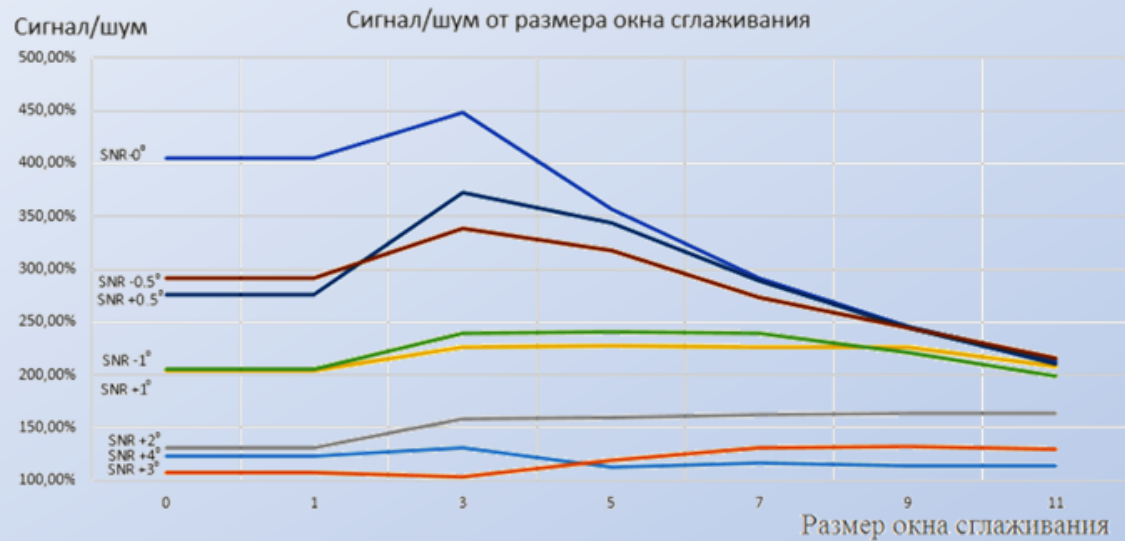


## Влияние шума





# Исследование влияние окна восстановления



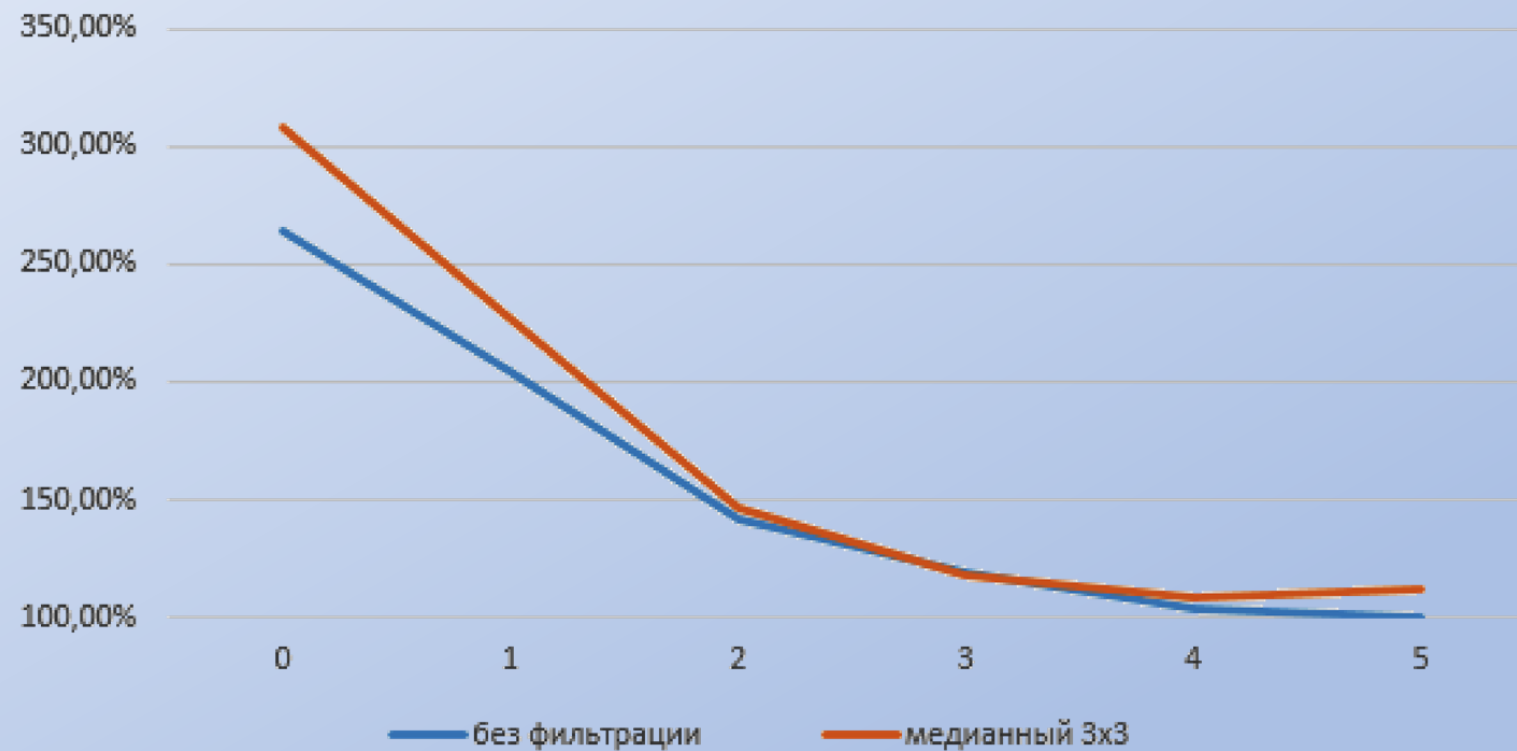
(а) При наличии поворотов



(б) При наличии изменения размера

# Исследование влияние обработки границ

Сигнал/шум от угла поворота



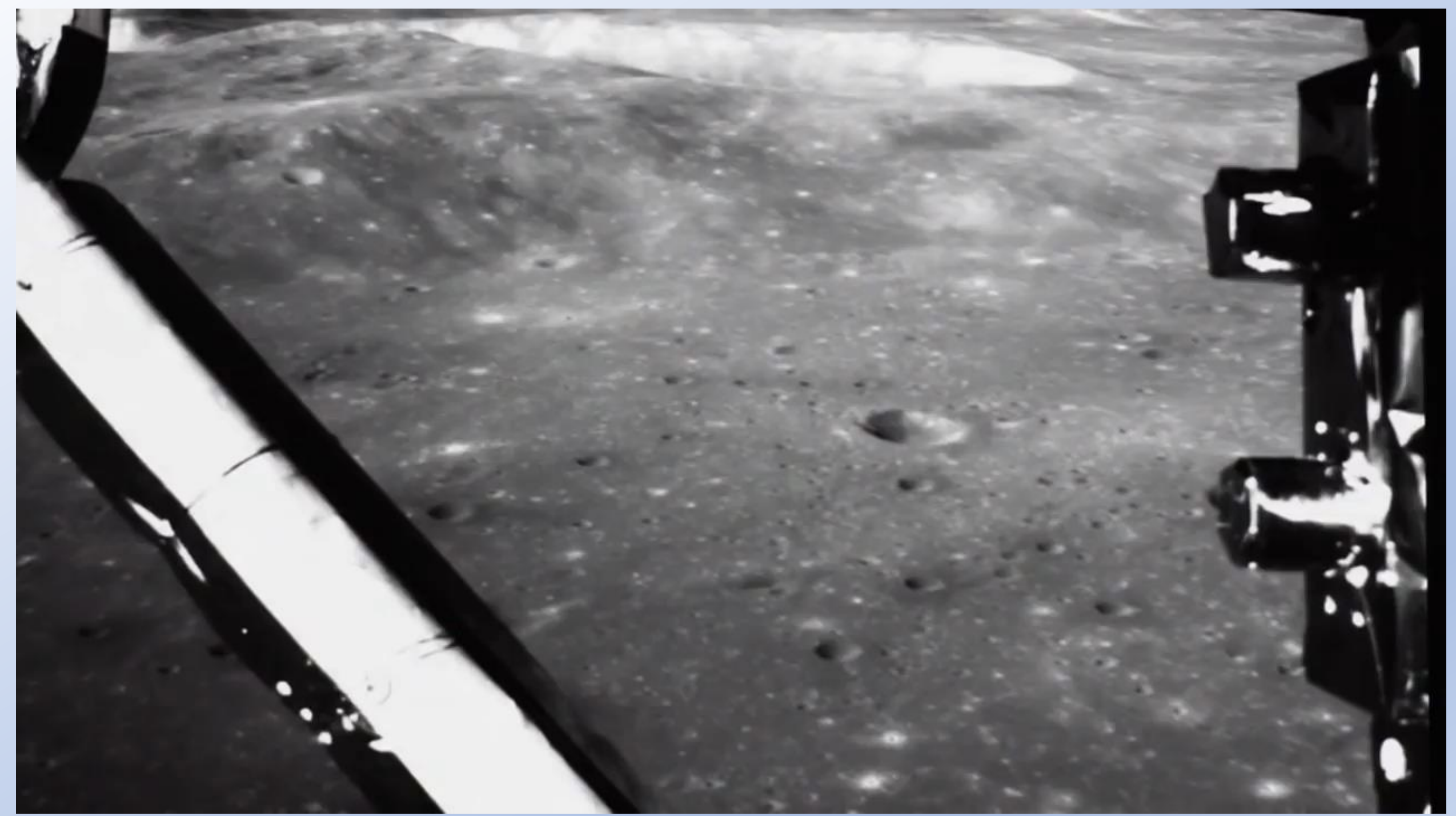
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен новый метод определения собственного положения посадочного модуля по векторной карте местности с использованием обобщенного преобразования Хафа в задаче посадки на Луну.

Метод обладает приемлемой скоростью и надежностью, не требует актуализации карты и может применяться для районов со сложными условиями освещенности.

За счет коррекции удастся повысить надежность метода к искажениям ракурса съемки.

Таким образом, скорректированный алгоритм работает надежно при наличии всех мешающих факторов.



**Спасибо за внимание!**

А.В. Бобков      Сюй Ян  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Москва 2019г.