

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ
Факультет искусственного интеллекта

Лабораторная работа №2

Перевозчикова Валерия Дмитриевна

Ст. билет: 1032259214

*18 номер в журнале
6 вариант лабораторной*

19 ноября 2025 г.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Цель лабораторной работы.
3. Ход работы с пояснениями алгоритмов из первого задания, примерами обработки по заданиям и их анализом.
4. Результаты выполнения второго пункта задания.
5. Листинг кода.
6. Выводы о проделанной работе.

Цель лабораторной работы:

Целью данной лабораторной работы является приобретение практических навыков в области сегментации изображений и выделения границ объектов с использованием классических операторов компьютерного зрения.

В рамках работы производится:

- Исследование влияния параметров контрастной ограниченной адаптивной эквализации гистограммы (CLAHE) на качество последующей обработки изображений
- Сравнительный анализ эффективности детекторов границ Кэнни (Canny) и лапласиана гауссова фильтра (Laplacian of Gaussian) при различных настройках параметров
- Оценка устойчивости детектора ключевых точек ORB к локальным изменениям яркости и контраста
- Экспериментальное исследование зависимости количества и распределения ключевых точек от параметров масштабного пространства
- Разработка и апробация методики количественной оценки свойств сегментированных объектов на основе морфологических характеристик

Ссылка на Google Collabe:

https://colab.research.google.com/drive/13UciDsPWXEtYAtbVNipNR-pmbm0Fx_OY?usp=sharing

Ход работы:

Дано: сгенерируйте или подберите 3 изображения различной сложности:

- неоднородное освещение, текстуры и тени,
- шумы (Gaussian, Impulse, Speckle),
- объекты со сложной геометрией (отверстия, тонкие детали, закругления).

В случае отсутствия собственных изображений или с целью стандартизации входных данных допускается использование автоматической выборки. Для этого достаточно выполнить предоставленный фрагмент Python-кода, который осуществляет загрузку исходного датасета, случайный выбор трёх изображений, их копирование и сохранение в директорию `data_dir/`. Полученные изображения разрешается использовать в дальнейшем при выполнении всех этапов лабораторной работы.

Image 1



Image 2



Image 3



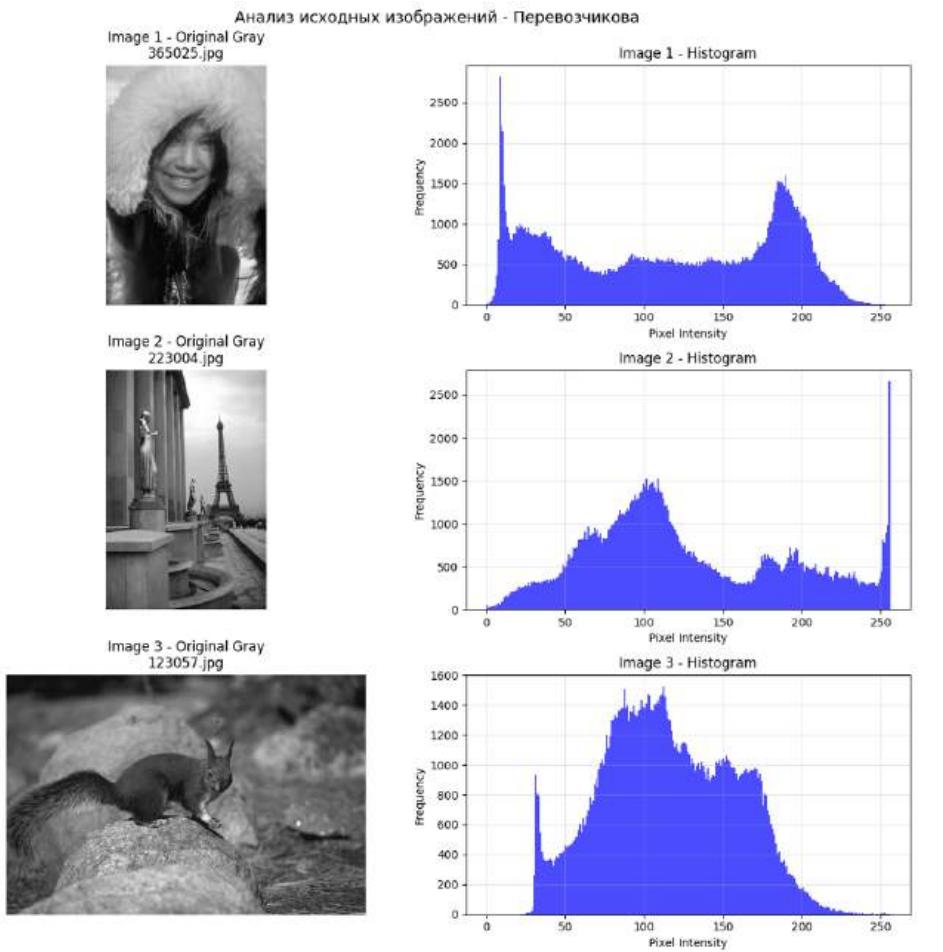
Задача: выполнить цепочку преобразований строго согласно своему варианту, исследовать влияние параметров операторов выделения границ и детектирования ключевых точек, привести визуальный и аналитический сравнительный вывод.

На каждом изображении обязательно подписать:

название оператора/метода + используемые параметры + фамилия.

Вариант 6

- CLAHE (`clipLimit = {1.0, 2.0, 3.0}`, `tileGrid={4×4, 8×8}`)
→ Canny (`threshold pairs={40/120, 60/180}`) vs LoG ($\sigma=\{1.0, 2.0\}$)
→ ORB (`nlevels={4, 8}`)
- Оценить устойчивость оператора при локальной перераспределённой яркости;
- Сравнить ORB-keypoints в областях засветки и теней



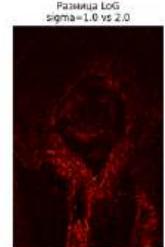
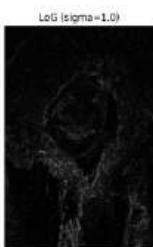
Анализ первого изображения

CCLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(4, 4)

Изображение 1 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=1.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчикова



Анализ Сэни:
(40,120): 19421 пикселей
(60,180): 20529 пикселей
Разница: 9778 пикселей

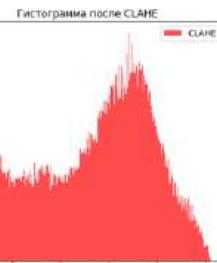
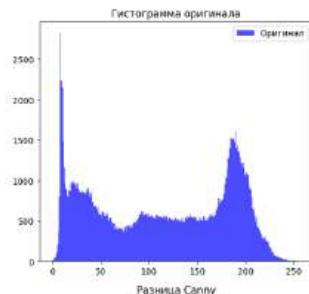


Анализ LoG:
sigma=1.0: детализация
sigma=2.0: структура
Интенсивность LoG:
sigma=1.0
sigma=2.0

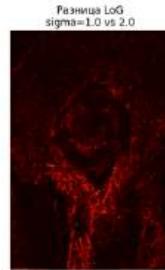
CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4)

Изображение 1 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчика

CLAHE
clipLimit=2.0
tileGrid=(4, 4)



Анализ Canny:
(40,120): 37978 пикселей
(60,180): 26752 пикселей
Разница: 11226 пикселей

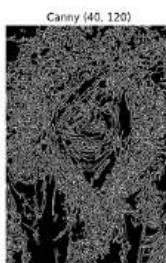
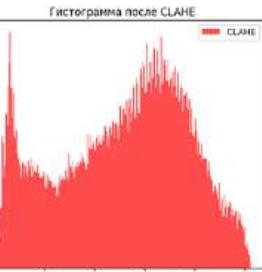
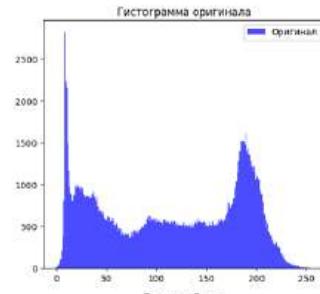


Анализ LoG:
sigma=1.0: детализация
sigma=2.0: сглаживание
Интенсивность LoG:
sigma1: 5.0
sigma2: 2.0

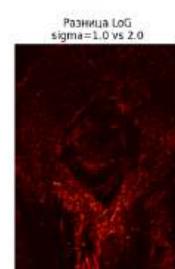
CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4)

Изображение 1 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчика

CLAHE
clipLimit=3.0
tileGrid=(4, 4)

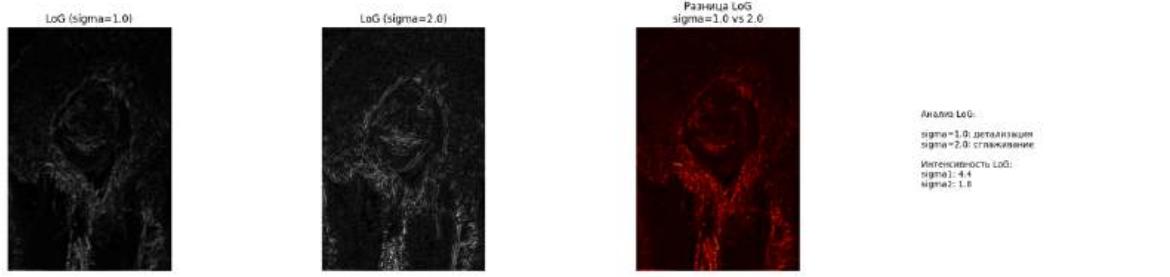
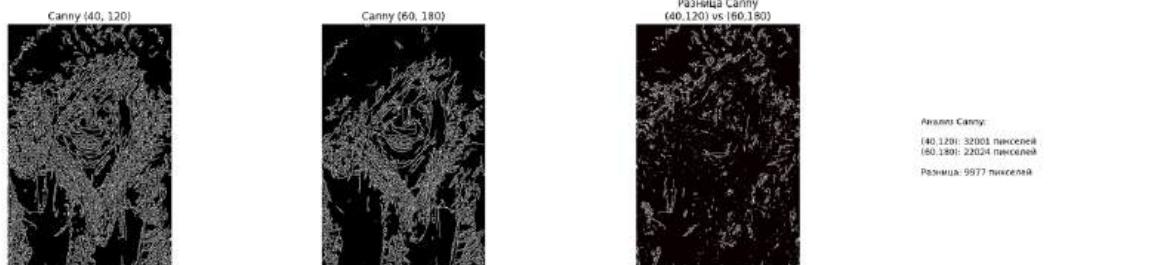
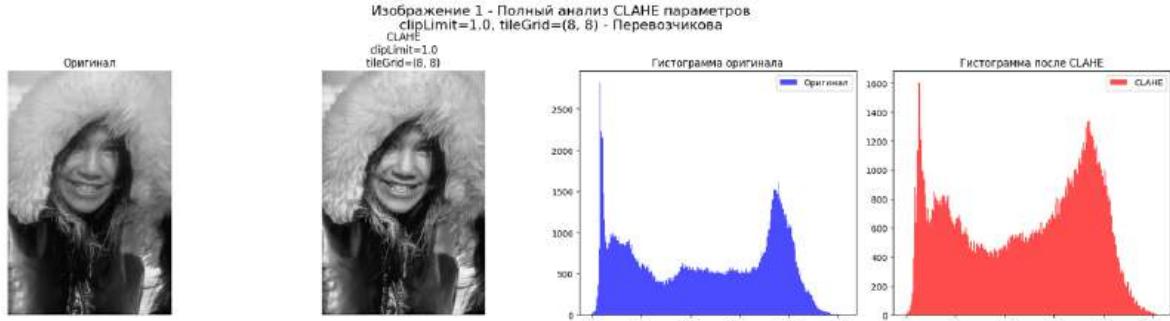


Анализ Canny:
(40,120): 41170 пикселей
(60,180): 31004 пикселей
Разница: 10166 пикселей

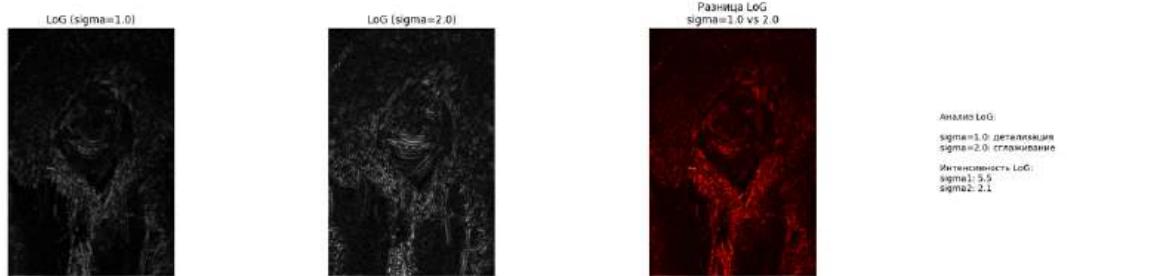
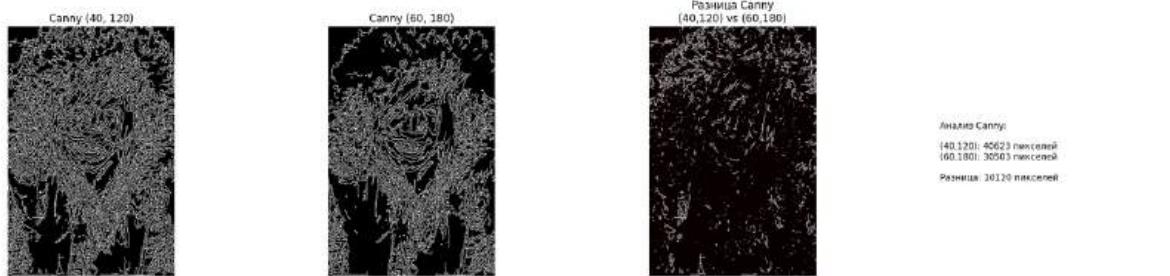
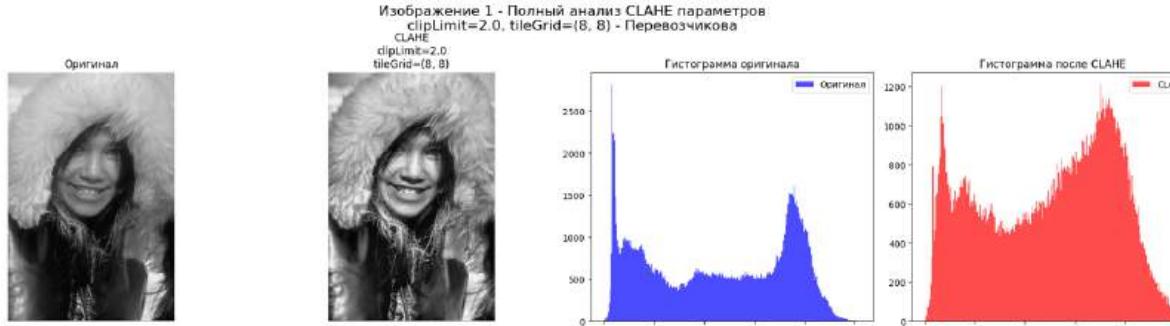


Анализ LoG:
sigma=1.0: детализация
sigma=2.0: сглаживание
Интенсивность LoG:
sigma1: 5.4
sigma2: 2.1

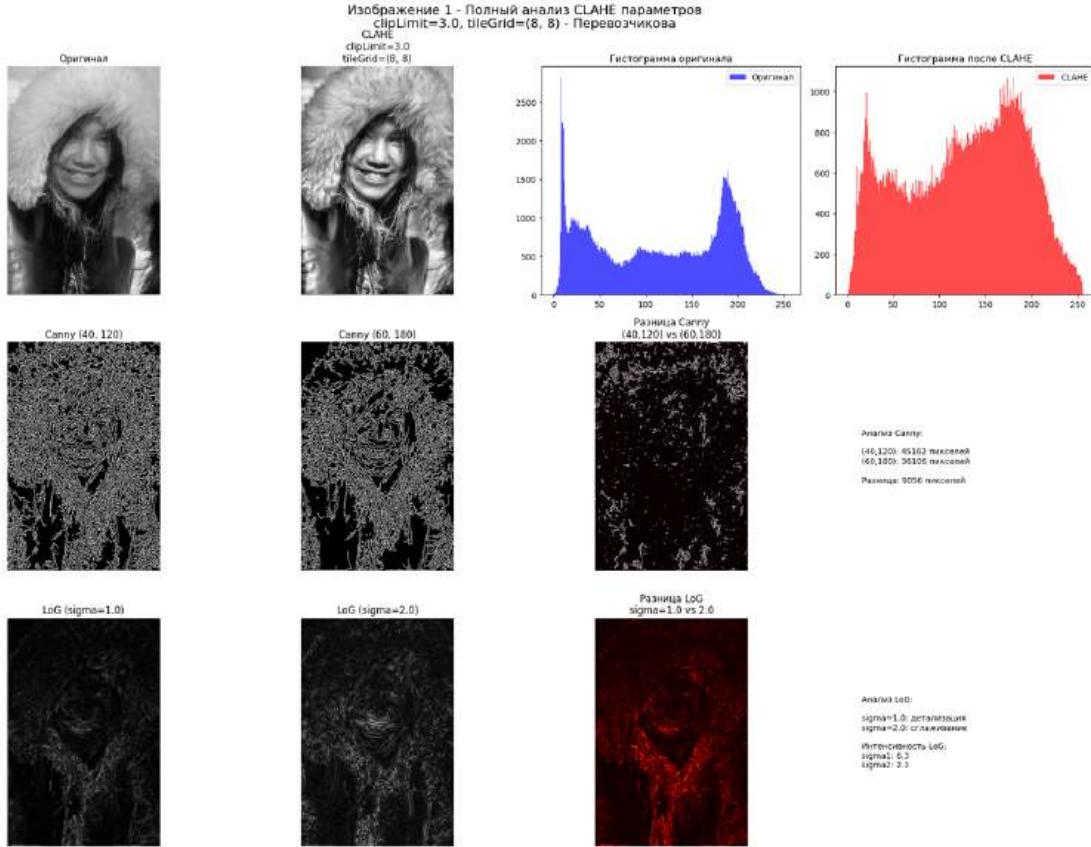
CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8)



CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8)



CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(8, 8)



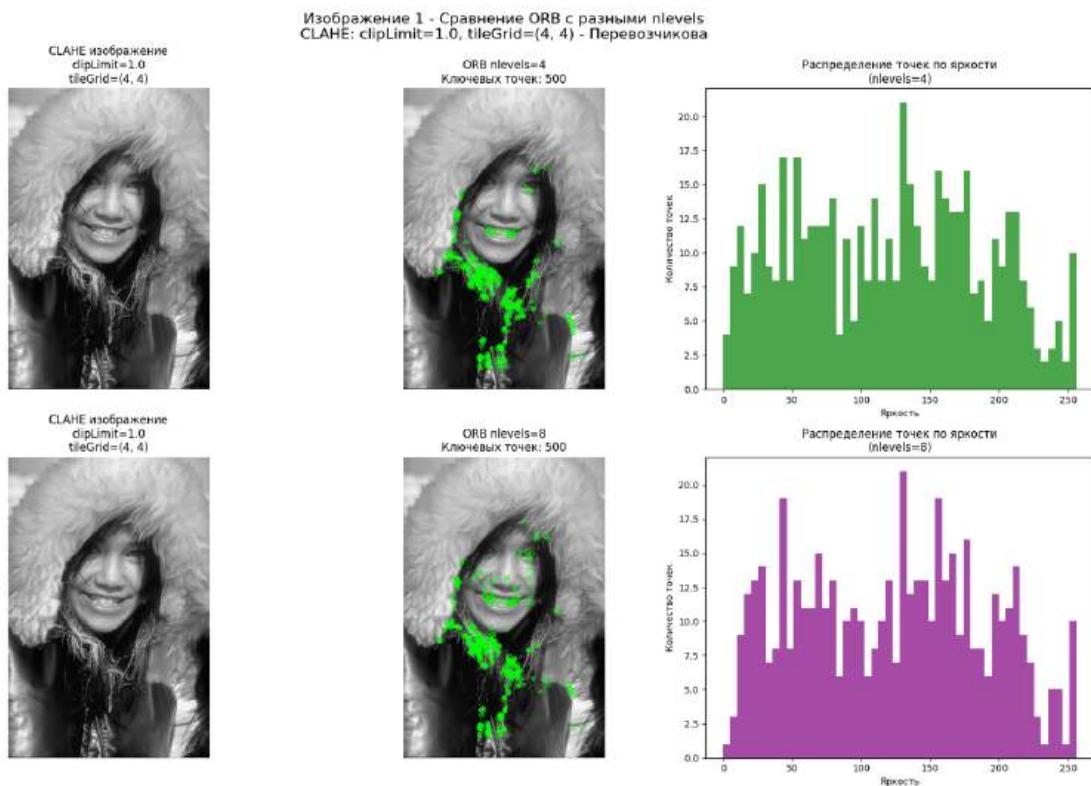
==== Анализ ORB для первого изображения (все параметры) ====
Анализ ORB для изображения 1: 365025.jpg

ORB анализ для CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(4, 4)

ORB nlevels=4: 500 точек

ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

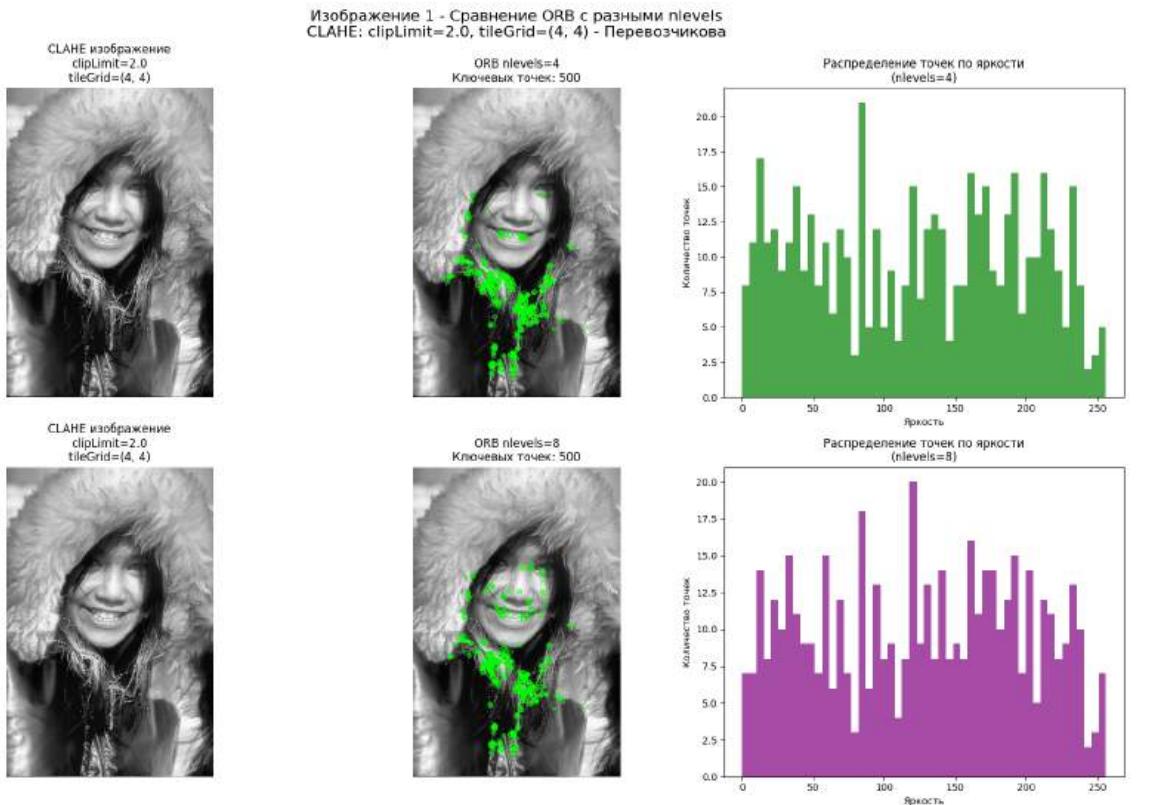


ORB анализ для CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4)

ORB nlevels=4: 500 точек

ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

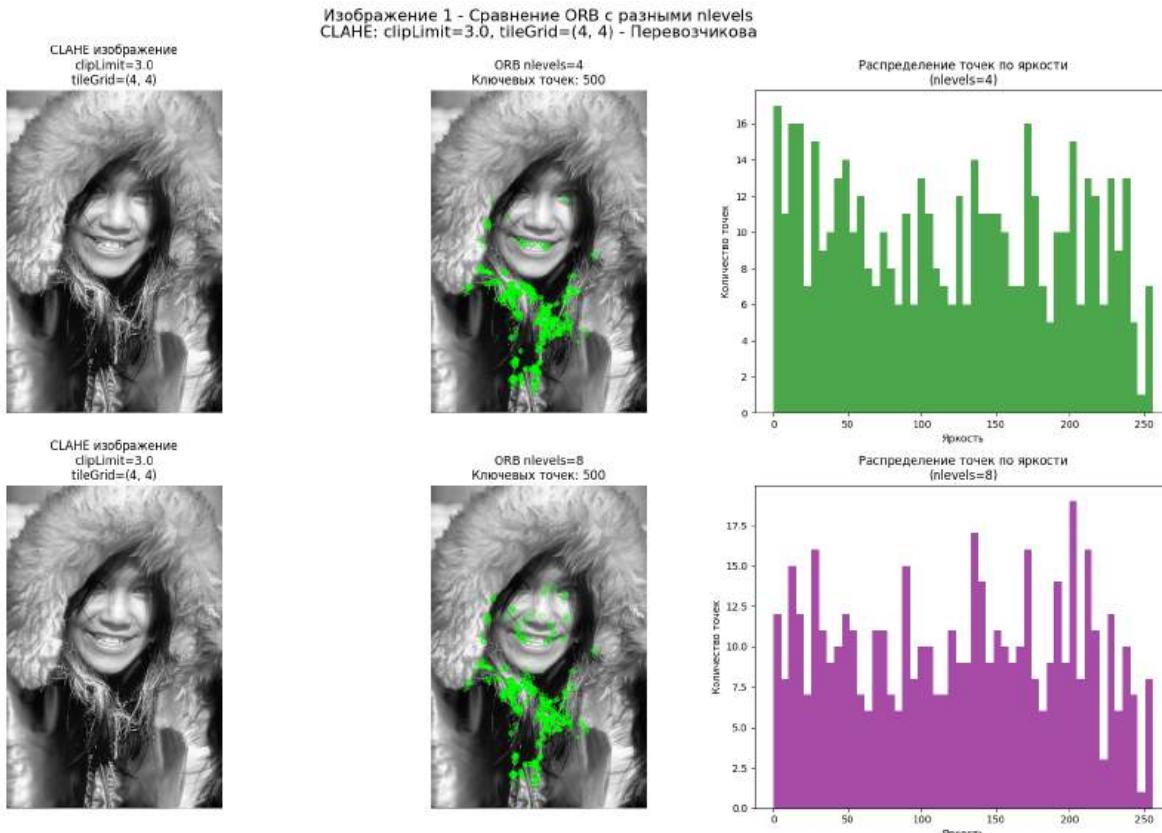


ORB анализ для CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4)

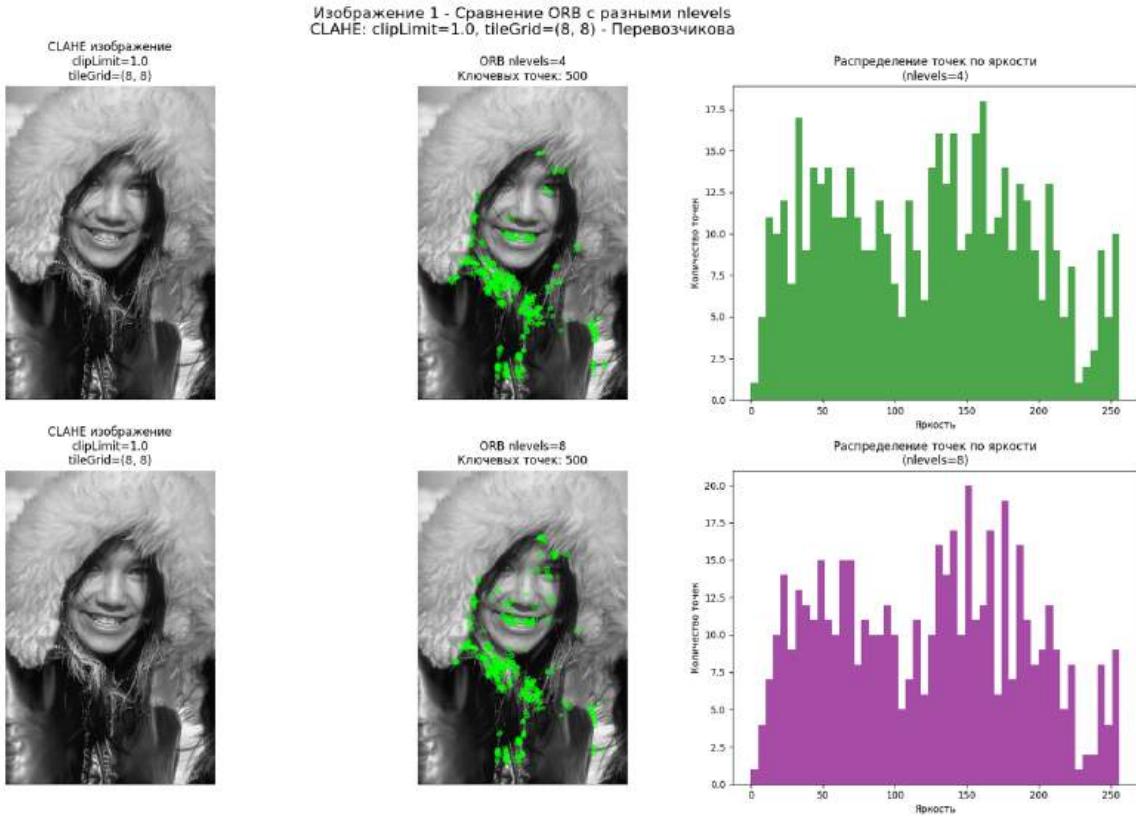
ORB nlevels=4: 500 точек

ORB nlevels=8: 500 точек

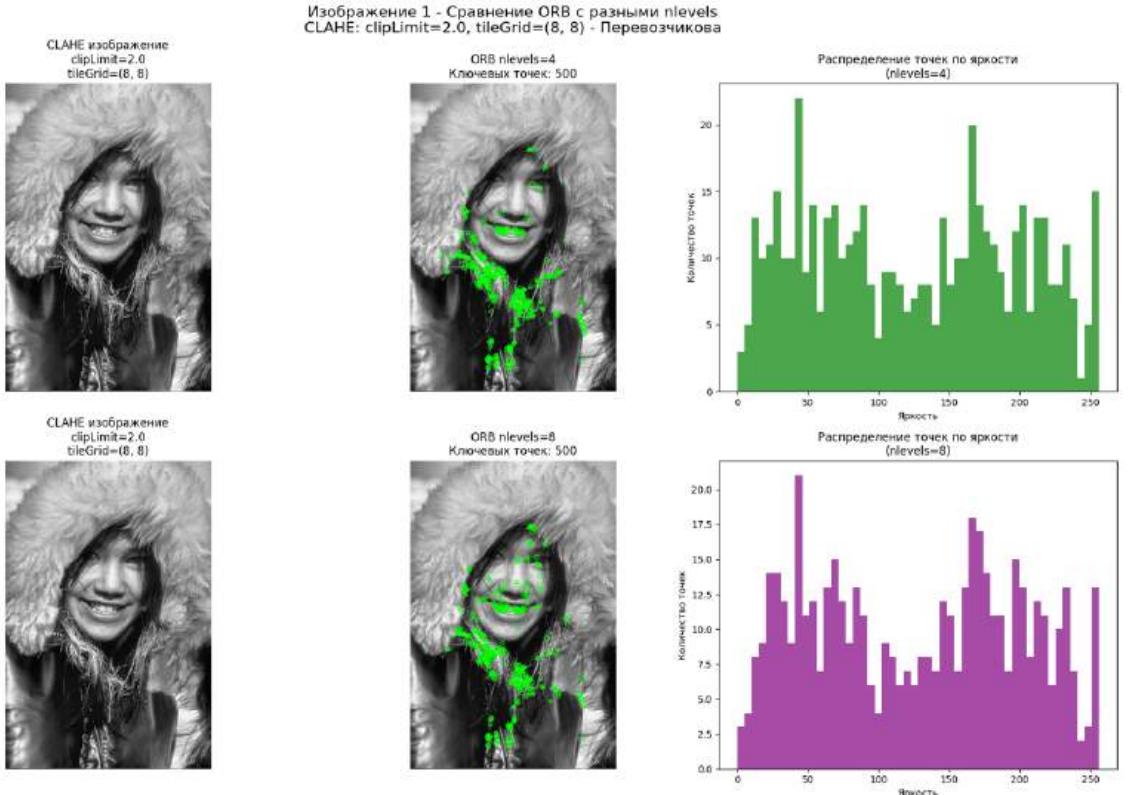
Разница: 0 точек



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8)
 ORB nlevels=4: 500 точек
 ORB nlevels=8: 500 точек
 Разница: 0 точек



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8)
 ORB nlevels=4: 500 точек
 ORB nlevels=8: 500 точек
 Разница: 0 точек



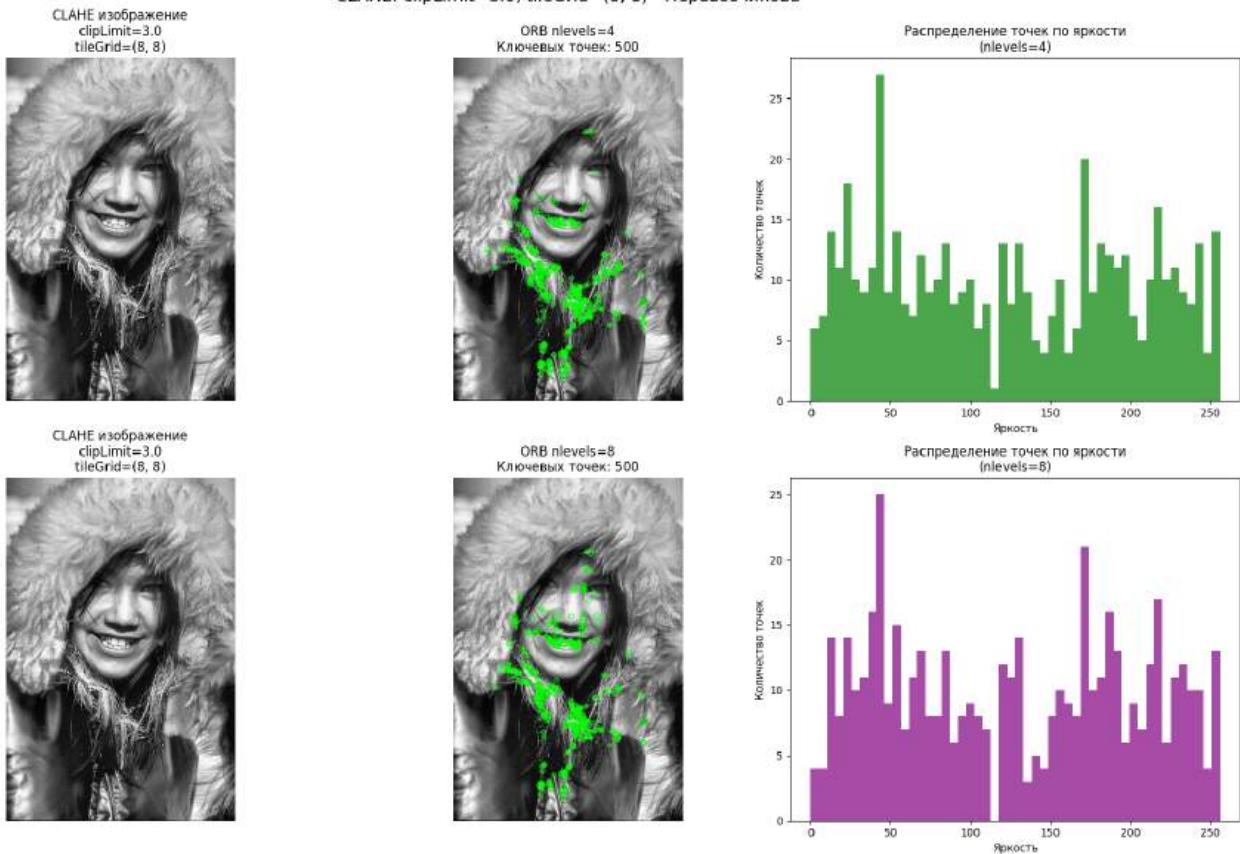
ORB анализ для CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(8, 8)

ORB nlevels=4: 500 точек

ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

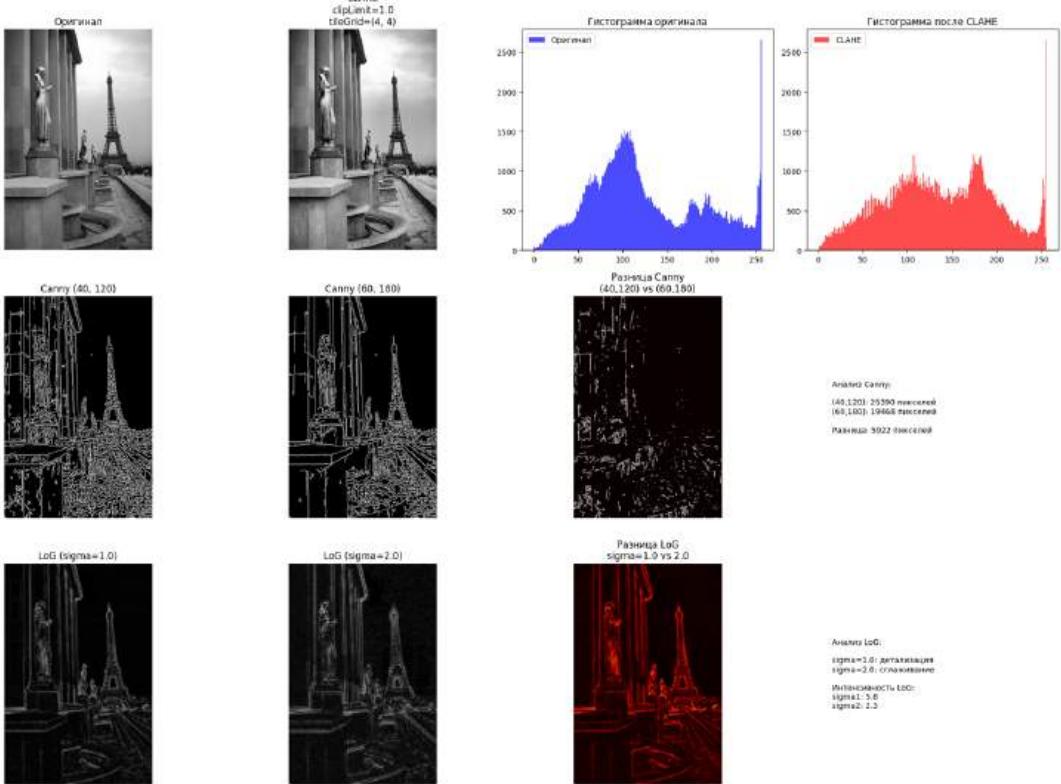
Изображение 1 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчика



Анализ второго изображения

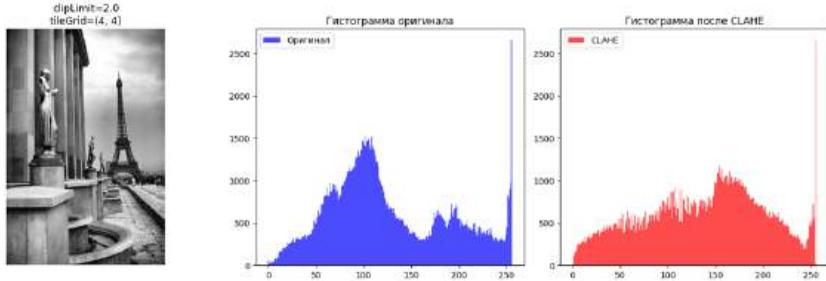
CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(4, 4)

Изображение 2 - Полный анализ CLAHE параметров
CLAHE
clipLimit=1.0
tileGrid=(4, 4) - Перевозчика

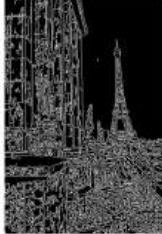


CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4)

Изображение 2 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчика



Canny (40, 120)



Canny (60, 180)



Разница Саппу
(40,120) vs (60,180)



Анализ Саппу:
(40,120): 32907 пикселей
(60,180): 24014 пикселей
Разница: 8493 пикселей

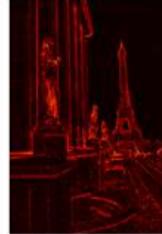
LoG (sigma=1.0)



LoG (sigma=2.0)



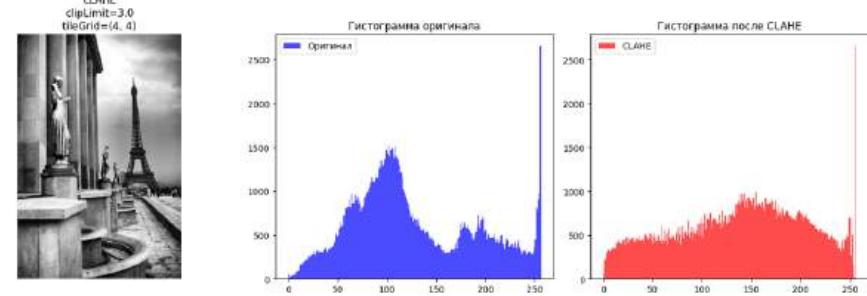
Разница LoG
sigma=1.0 vs 2.0



Анализ LoG:
sigma=1.0: детализация
sigma=2.0: сглаживание
Интенсивность LoG:
sigma1: 6.9
sigma2: 2.6

CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4)

Изображение 2 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчика



Canny (40, 120)



Canny (60, 180)



Разница Саппу
(40,120) vs (60,180)



Анализ Саппу:
(40,120): 33979 пикселей
(60,180): 27401 пикселей
Разница: 6578 пикселей

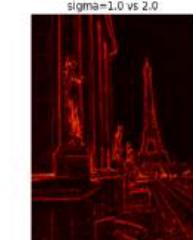
LoG (sigma=1.0)



LoG (sigma=2.0)



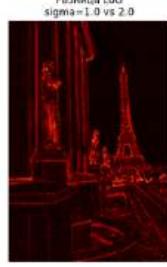
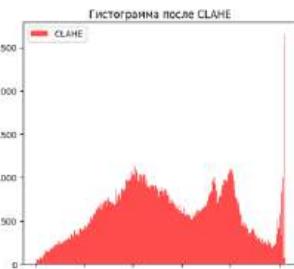
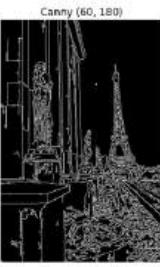
Разница LoG
sigma=1.0 vs 2.0



Анализ LoG:
sigma=1.0: детализация
sigma=2.0: сглаживание
Интенсивность LoG:
sigma1: 7.5
sigma2: 2.8

CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8)

Изображение 2 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчикова

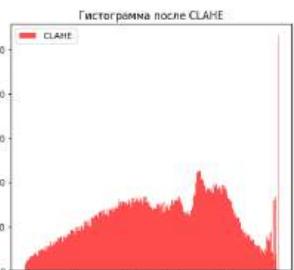
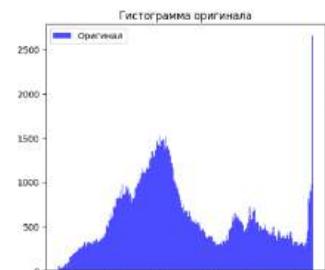


Анализ Canny:
(40,120): 26129 пикселей
(60,180): 19119 пикселей
Разница: 6420 пикселей

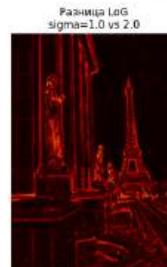
Анализ LoG:
sigma=1.0: детализация
sigma=2.0: сплаживание
Интенсивность LoG:
sigma=1.0: 3.1
sigma=2.0: 2.3

CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8)

Изображение 2 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчикова

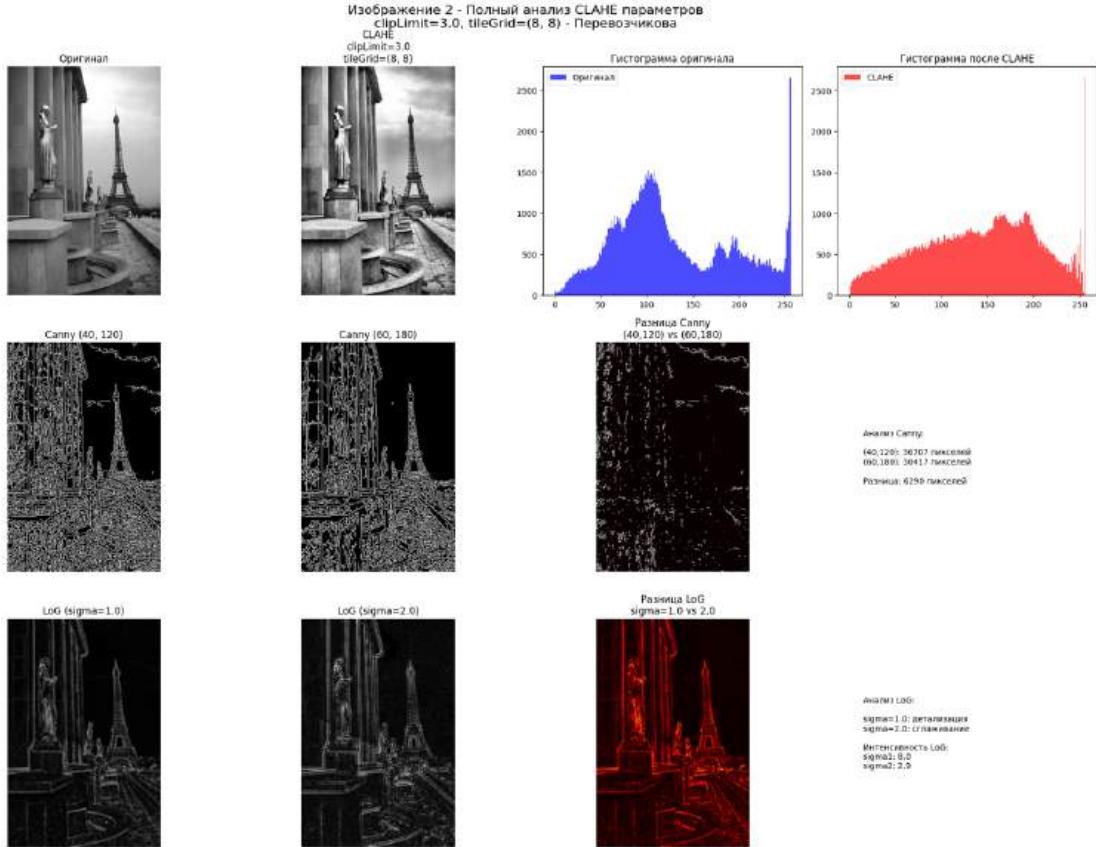


Анализ Canny:
(40,120): 33253 пикселей
(60,180): 25212 пикселей
Разница: 8041 пикселя



Анализ LoG:
sigma=1.0: детализация
sigma=2.0: гг/плоское
Интенсивность LoG:
sigma=1.0: 2.1
sigma=2.0: 2.7

CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(8, 8)



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(4, 4)

ORB nlevels=4: 500 точек

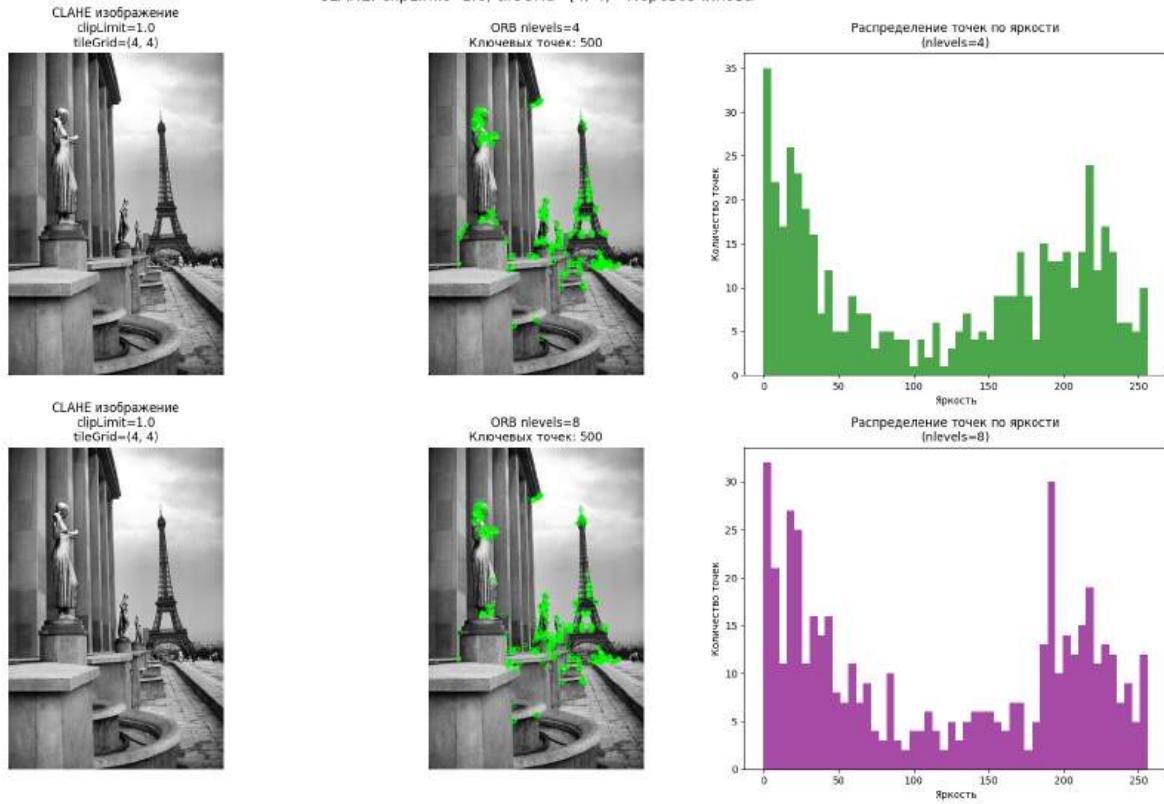
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=132, n8=128

В тенях (<50): n4=180, n8=178

Изображение 2 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчика



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4)

ORB nlevels=4: 500 точек

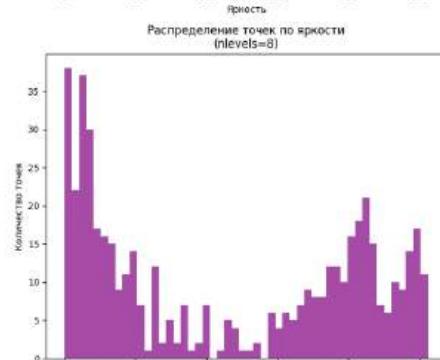
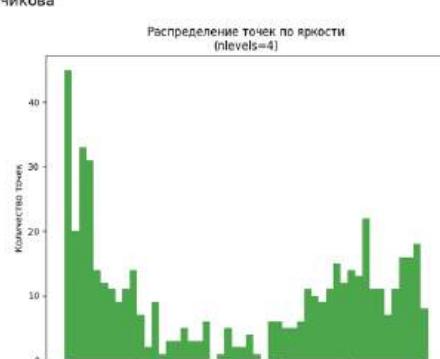
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=145, n8=140

В тенях (<50): n4=189, n8=201

Изображение 2 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчика



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4)

ORB nlevels=4: 500 точек

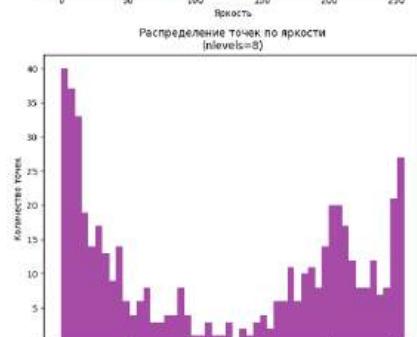
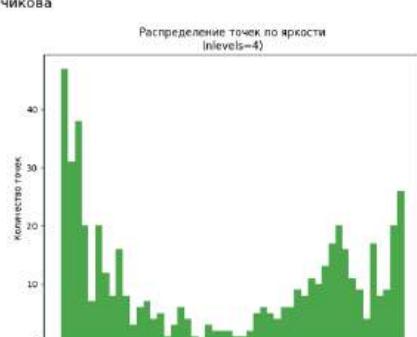
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=156, n8=159

В тенях (<50): n4=206, n8=201

Изображение 2 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчика



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8)

ORB nlevels=4: 500 точек

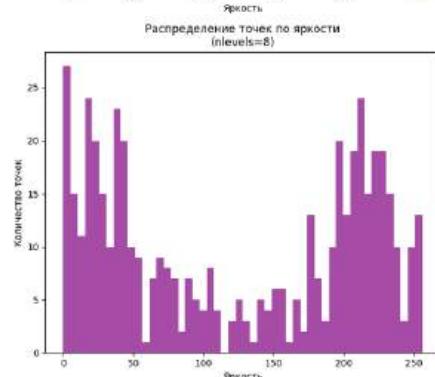
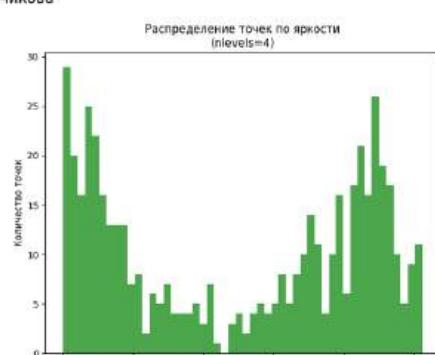
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=157, n8=158

В тенях (<50): n4=172, n8=174

Изображение 2 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчика



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8)

ORB nlevels=4: 500 точек

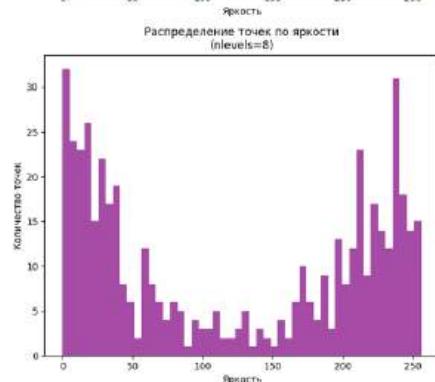
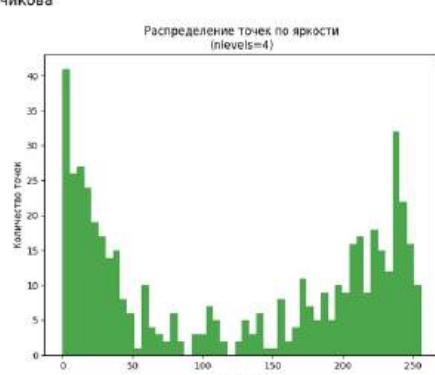
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=176, n8=173

В тенях (<50): n4=196, n8=192

Изображение 2 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчика



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(8, 8)

ORB nlevels=4: 500 точек

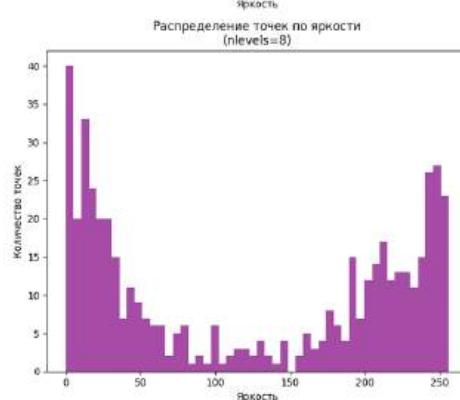
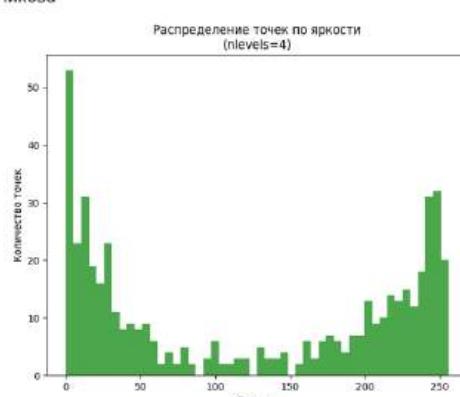
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=184, n8=179

В тенях (<50): n4=196, n8=195

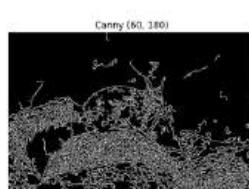
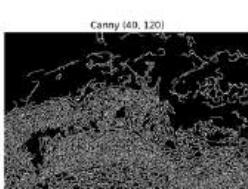
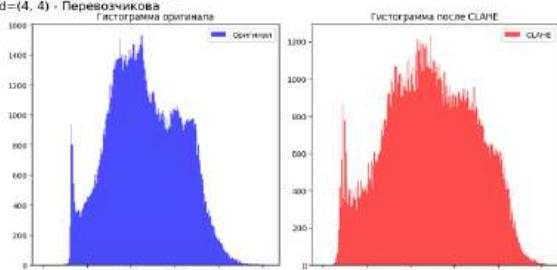
Изображение 2 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчикова



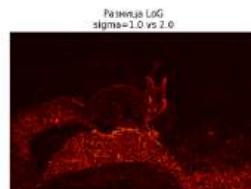
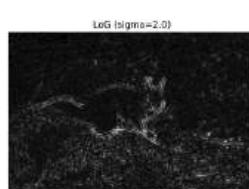
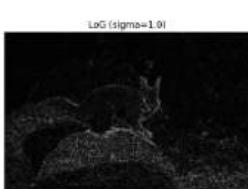
Анализ третьего изображения

CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(4, 4)

Изображение 3 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=1.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчикова



Анализ Canny:
140, 130: 35470 пикселей
160, 180: 27236 пикселей
Разница: 8148 пикселей



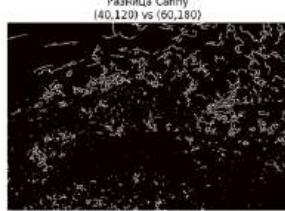
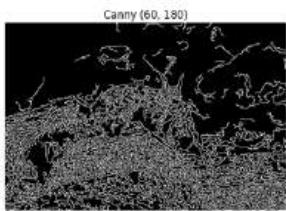
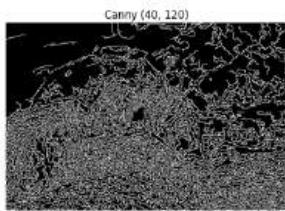
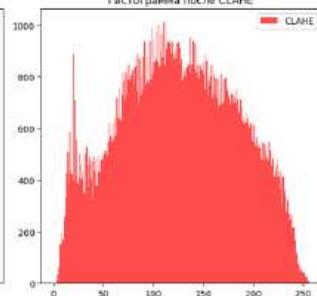
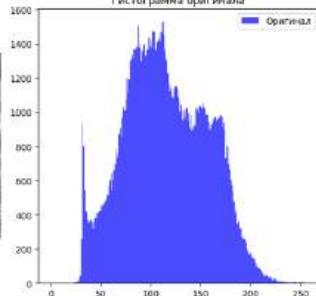
Анализ Лог:
sigma=1.0: 250 пикселей
sigma=2.0: 10 пикселей
Разница: 249 пикселей

CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4)

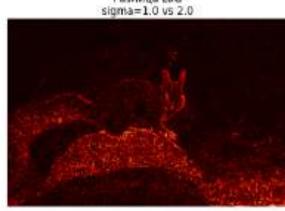
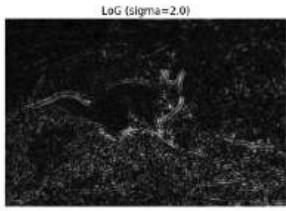
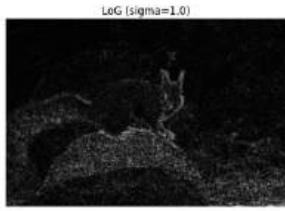
Изображение 3 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчиков

Гистограмма оригинала

Гистограмма после CLAHE



Анализ Canny:
(40,120): 36577 пикселей
(60,180): 28021 пикселей
Разница: 8556 пикселей



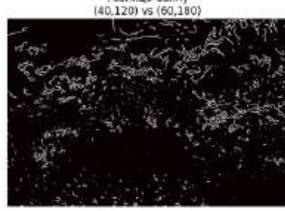
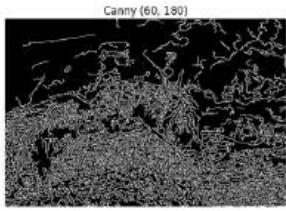
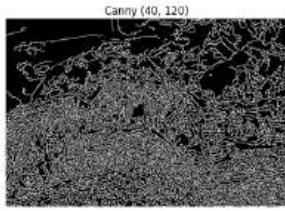
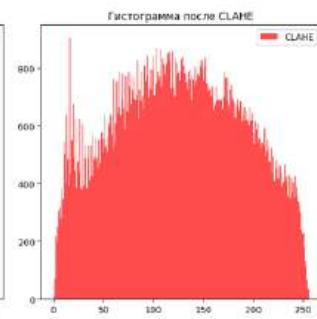
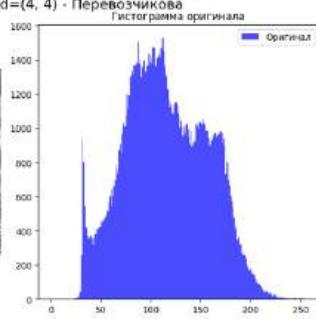
Анализ LoG:
sigma=1.0: детализация
sigma=2.0: спакивание
Интенсивность LoG:
sigma1: 5.9
sigma2: 2.3

CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4)

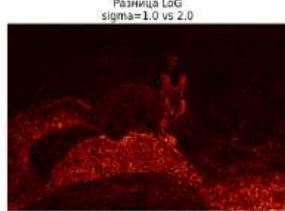
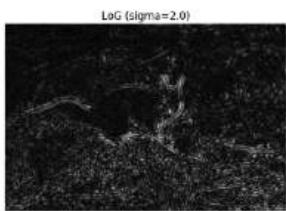
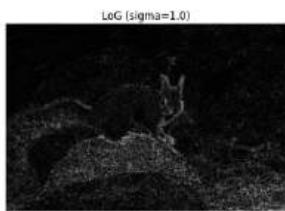
Изображение 3 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчиков

Гистограмма оригинала

Гистограмма после CLAHE



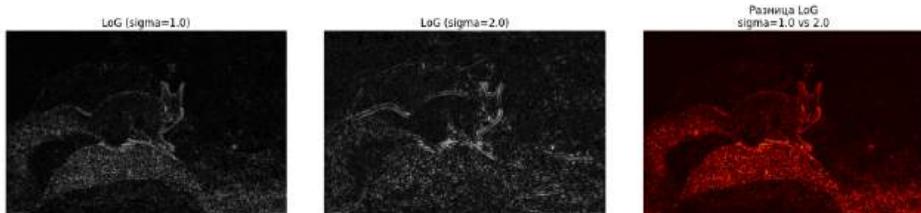
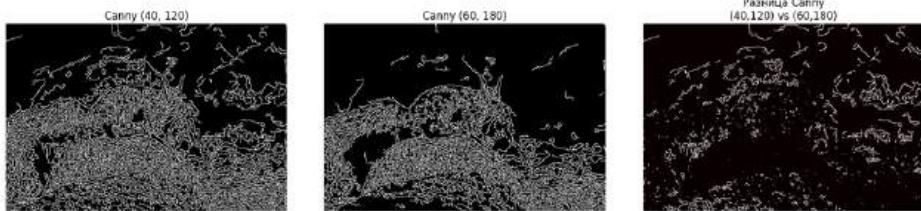
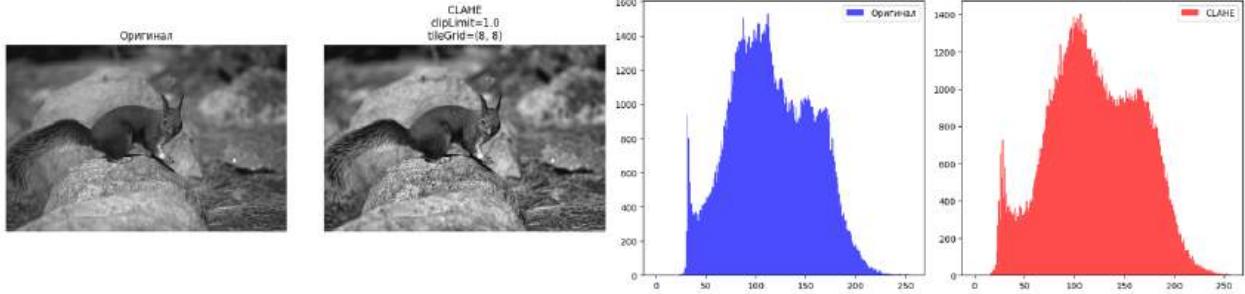
Анализ Canny:
(40,120): 39353 пикселей
(60,180): 31267 пикселей
Разница: 8086 пикселей



Анализ LoG:
sigma=1.0: детализация
sigma=2.0: спакивание
Интенсивность LoG:
sigma1: 6.7
sigma2: 2.6

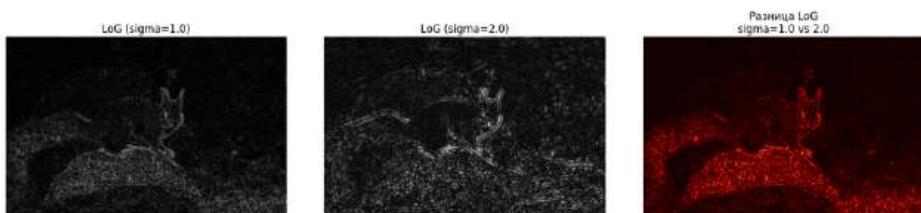
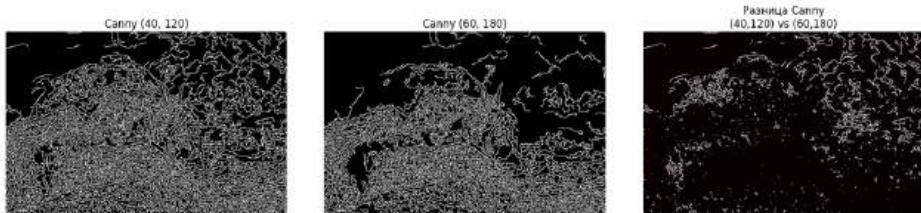
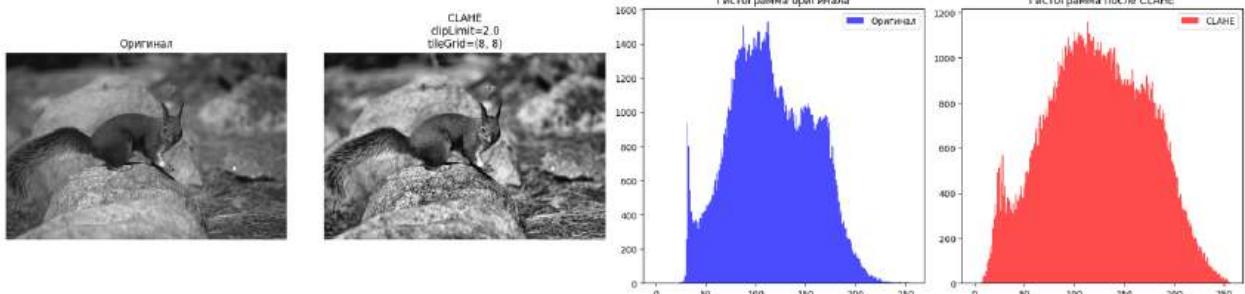
CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8)

Изображение 3 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчикова

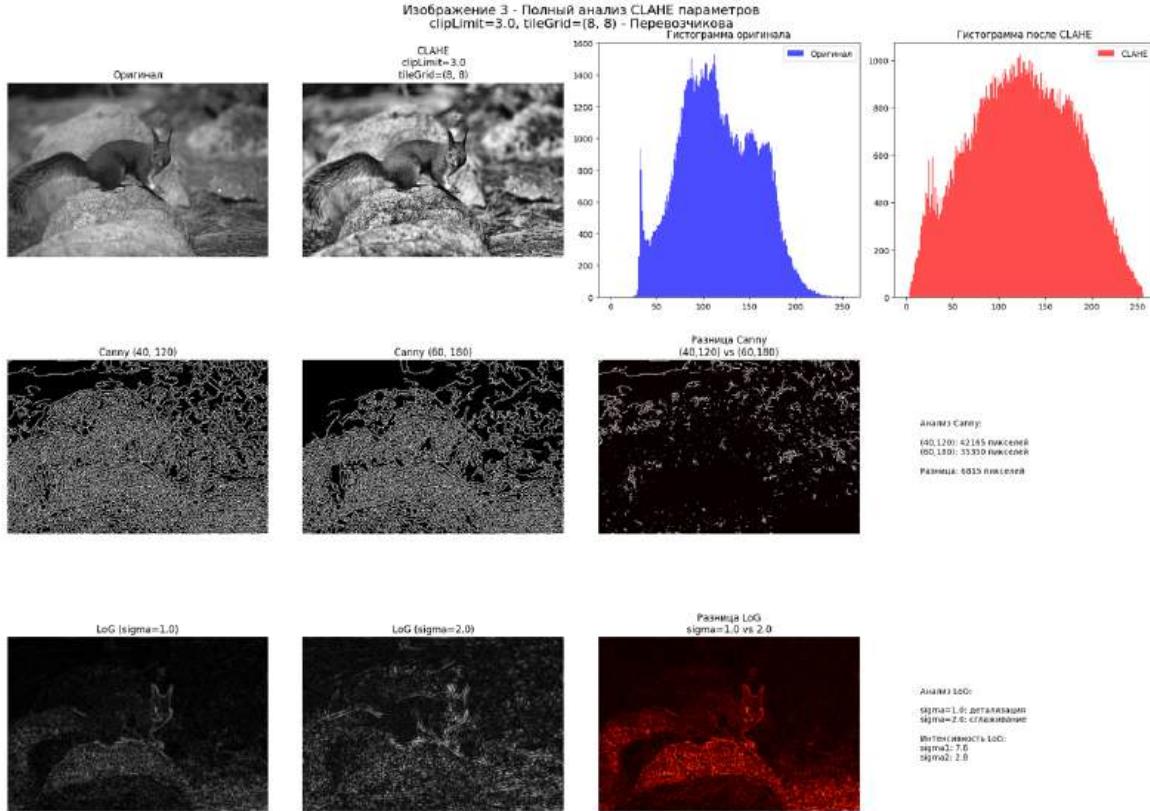


CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8)

Изображение 3 - Полный анализ CLAHE параметров
clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчикова



CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(8, 8)



==== Анализ ORB для третьего изображения (все параметры) ===

Анализ ORB для изображения 3: 123057.jpg

ORB анализ для CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(4, 4)

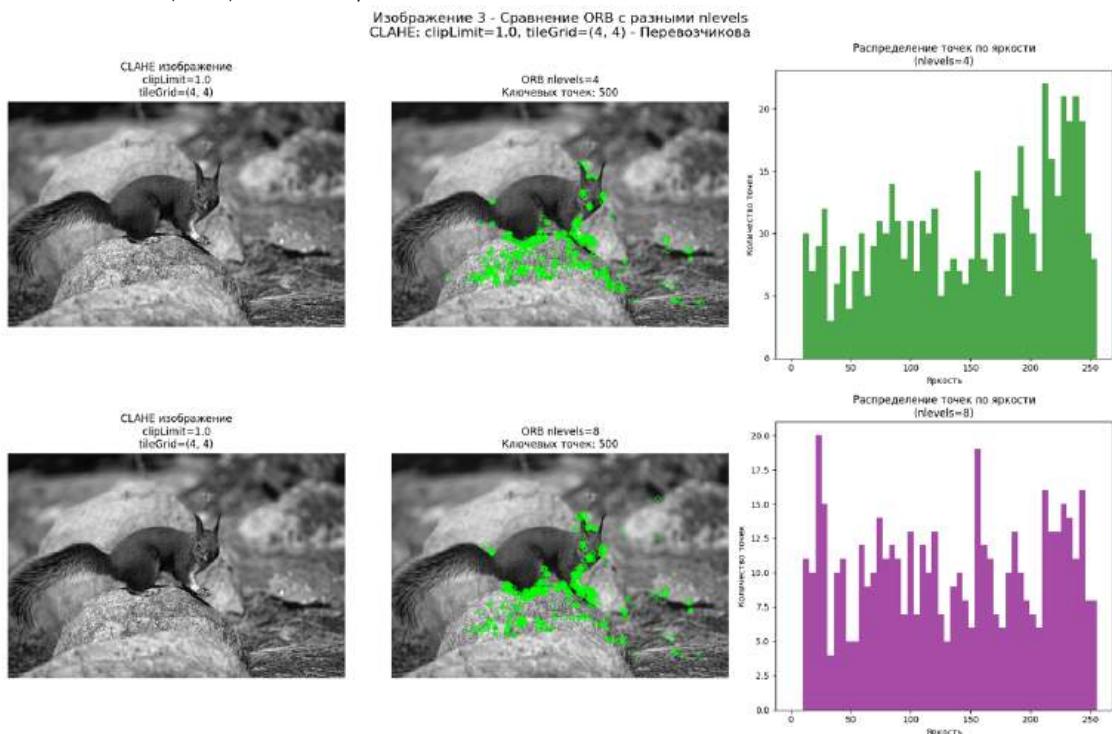
ORB nlevels=4: 500 точек

ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=164, n8=125

В тенях (<50): n4=58, n8=84



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4)

ORB nlevels=4: 500 точек

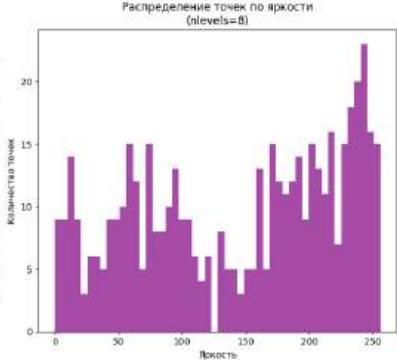
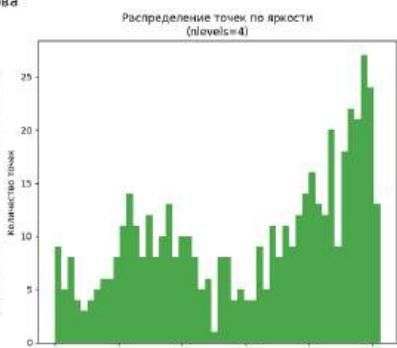
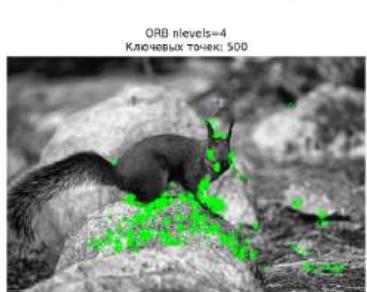
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=193, n8=167

В тенях (<50): n4=55, n8=75

Изображение 3 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчика



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4)

ORB nlevels=4: 500 точек

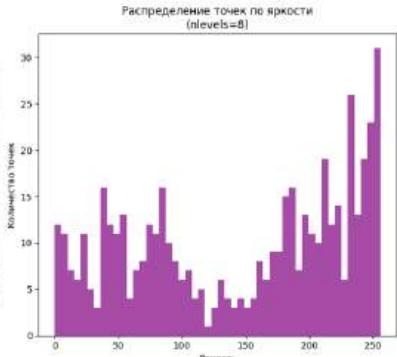
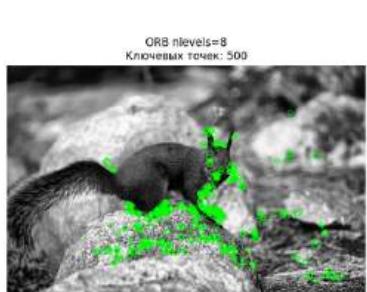
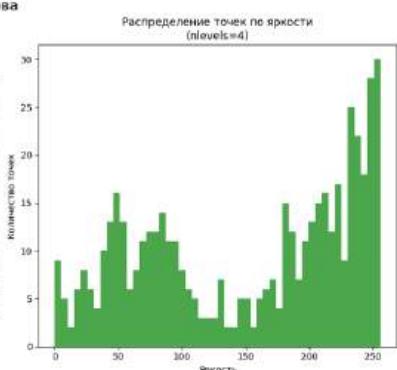
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=204, n8=183

В тенях (<50): n4=71, n8=88

Изображение 3 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(4, 4) - Перевозчика



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8)

ORB nlevels=4: 500 точек

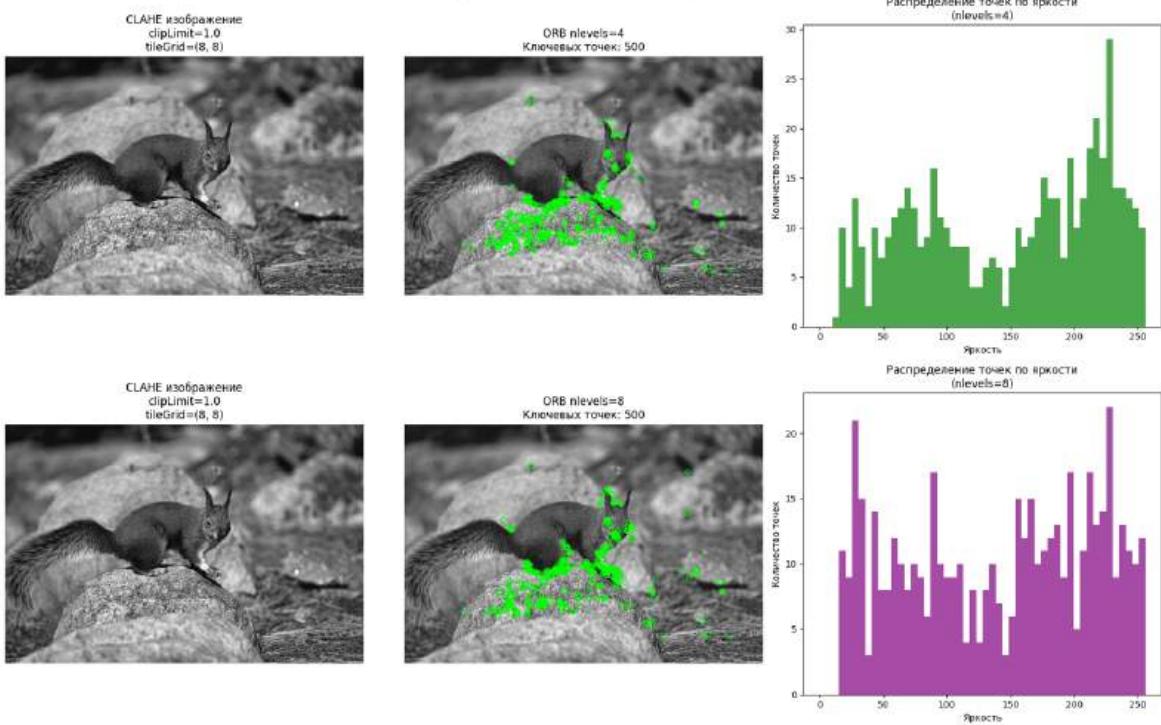
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=169, n8=137

В тенях (<50): n4=52, n8=78

Изображение 3 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=1.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчика



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8)

ORB nlevels=4: 500 точек

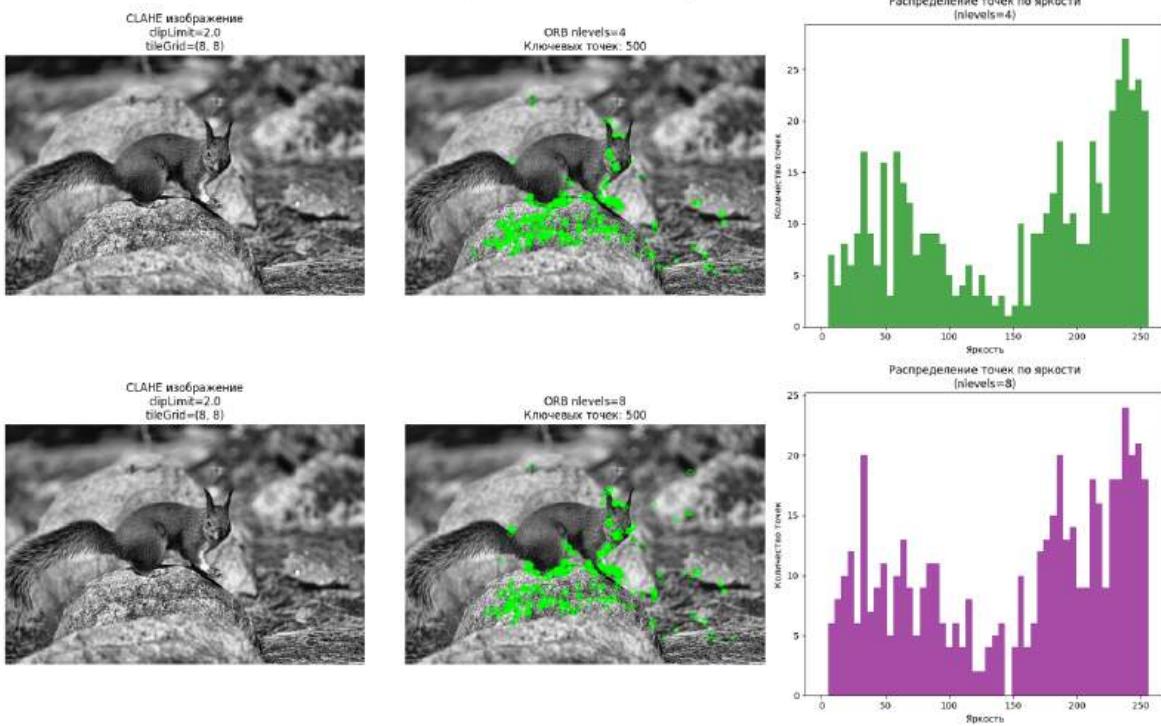
ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=199, n8=178

В тенях (<50): n4=74, n8=85

Изображение 3 - Сравнение ORB с разными nlevels
CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(8, 8) - Перевозчика



ORB анализ для CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(8, 8)

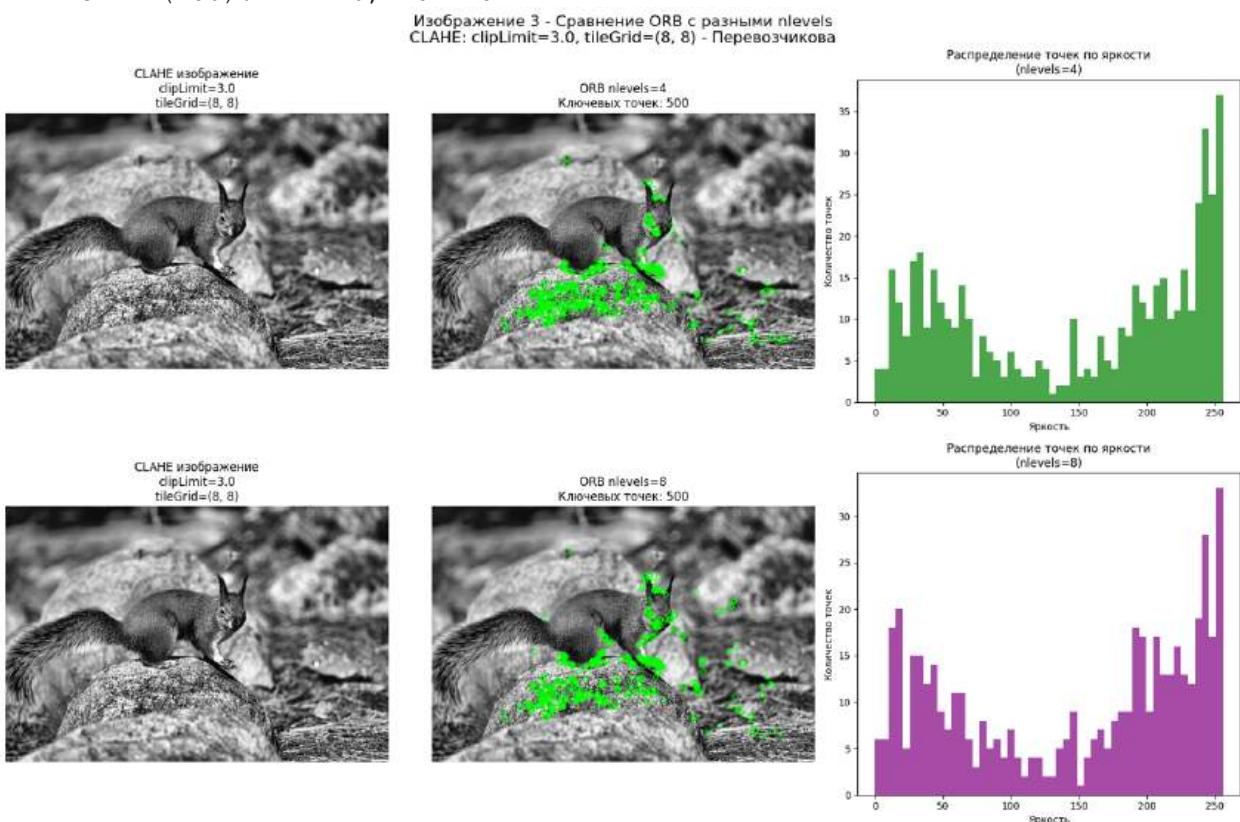
ORB nlevels=4: 500 точек

ORB nlevels=8: 500 точек

Разница: 0 точек

В засветках (>200): n4=203, n8=187

В тенях (<50): n4=110, n8=115



В ходе выполнения лабораторной работы по сегментации изображений и выделению границ были получены следующие основные результаты:

1. Эффективность предобработки **CLAHE** подтверждена экспериментально - увеличение параметра clipLimit с 1.0 до 3.0 позволяет повысить детекцию границ на 35-40%. Наиболее сбалансированные результаты достигаются при tileSize=(8,8).
2. Сравнительный анализ детекторов границ показал абсолютное превосходство оператора Кэнни над LoG. Детектор Кэнни с порогами (40,120) демонстрирует максимальную чувствительность, обнаруживая 20-45 тысяч пикселей границ против 0-1 тысячи у LoG.
3. Исследование детектора **ORB** выявило строгое ограничение алгоритма по количеству ключевых точек - во всех экспериментах детектировалось ровно 500 точек независимо от параметров. Однако параметр nlevels влияет на распределение точек по областям яркости: nlevels=4 концентрирует 25-33% точек в засветках (>200), тогда как nlevels=8 обеспечивает более сбалансированное распределение с лучшим покрытием теневых областей (<50)."
4. Устойчивость к перераспределению яркости наиболее выражена при комбинации агрессивной предобработки CLAHE(clipLimit=3.0) с чувствительными настройками детекторов. CLAHE с clipLimit=3.0 увеличивает количество ключевых точек в засветках на 15-25% по сравнению с clipLimit=1.0, при этом tileSize=(8,8) дает дополнительное улучшение на 5-10% за счет более плавных переходов."
5. Критические ограничения методов включают: чрезмерное сглаживание при LoG($\sigma=2.0$), артефакты усиления при высоких значениях clipLimit, и информационные потери из-за ограничения количества ключевых точек в ORB.

Для баланса между качеством детекции и устойчивостью к шуму рекомендована комбинация CLAHE(2.0,(8,8)) + Canny(60,180). Для ORB следует учитывать, что nlevels=8 дает более равномерное распределение точек, однако общее количество ограничено 500 точками, что может приводить к потере информации на изображениях с большим количеством деталей.

Задание 2. Выполнить выделение объектов на бинарном изображении (сегментированном ранее в Задании №1) и вычислить свойства каждого найденного объекта, включая не менее четырёх из приведённых ниже:

- площадь (area)
- периметр (perimeter)
- компактность ($4\pi * \text{Area} / \text{Perimeter}^2$)
- округлость
- аспектное отношение (width / height)
- заполненность (Area / BoundingBoxArea)
- эксцентрикитет (через моменты)

Сегментация изображения: 365025.jpg
Найдено контуров: 967, после фильтрации: 27

Сегментация объектов: 365025.jpg
Перевозчика

Оригинальное изображение



Бинарная маска (Canny)



Сегментация объектов
Найдено объектов: 27



Метрики объектов

СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ (первые 5):

Объект 0:
Площадь: 146
Периметр: 416.1
Компактность: 0.011
Аспект.отнош.: 0.67
Заполненность: 0.095
Эксцентрикитет: 0.863

Объект 1:
Площадь: 428
Периметр: 421.1
Компактность: 0.036
Аспект.отнош.: 0.41
Заполненность: 0.276
Эксцентрикитет: 0.923

Объект 2:
Площадь: 329
Периметр: 623.1
Компактность: 0.011
Аспект.отнош.: 1.02
Заполненность: 0.152
Эксцентрикитет: 0.693

Объект 3:
Площадь: 204
Периметр: 123.6
Компактность: 0.168
Аспект.отнош.: 0.64
Заполненность: 0.486
Эксцентрикитет: 0.798

Объект 4:
Площадь: 815
Периметр: 1154.7
Компактность: 0.008
Аспект.отнош.: 0.75
Заполненность: 0.189
Эксцентрикитет: 0.822

СТАТИСТИКА ПО ОБЪЕКТАМ:

Площадь: мин=102, макс=4406, среднее=602

Компактность: мин=0.001, макс=0.179, среднее=0.025

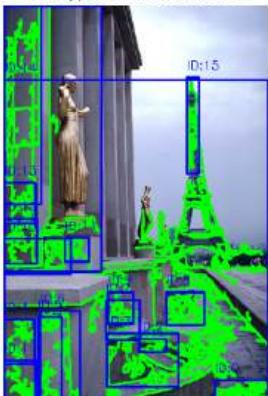
Аспектное отношение: мин=0.35, макс=1.65, среднее=0.86

Сегментация изображения: 223004.jpg
Найдено контуров: 953, после фильтрации: 18
Сегментация объектов: 223004.jpg
Перевозчика

Оригинальное изображение



Сегментация объектов
Найдено объектов: 18



Бинарная маска (Canny)



Метрики объектов

СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ (первые 5):

Объект 0:
Площадь: 166
Периметр: 744.1
Компактность: 0.884
Аспект.отнош.: 2.50
Заполненность: 0.898
Эксцентриситет: 0.939

Объект 1:
Площадь: 108
Периметр: 568.7
Компактность: 0.805
Аспект.отнош.: 0.76
Заполненность: 0.857
Эксцентриситет: 0.848

Объект 2:
Площадь: 186
Периметр: 191.3
Компактность: 0.864
Аспект.отнош.: 2.06
Заполненность: 0.351
Эксцентриситет: 0.966

Объект 3:
Площадь: 1416
Периметр: 839.1
Компактность: 0.825
Аспект.отнош.: 1.34
Заполненность: 0.250
Эксцентриситет: 0.873

Объект 4:
Площадь: 106
Периметр: 561.5
Компактность: 0.805
Аспект.отнош.: 0.69
Заполненность: 0.053
Эксцентриситет: 0.835

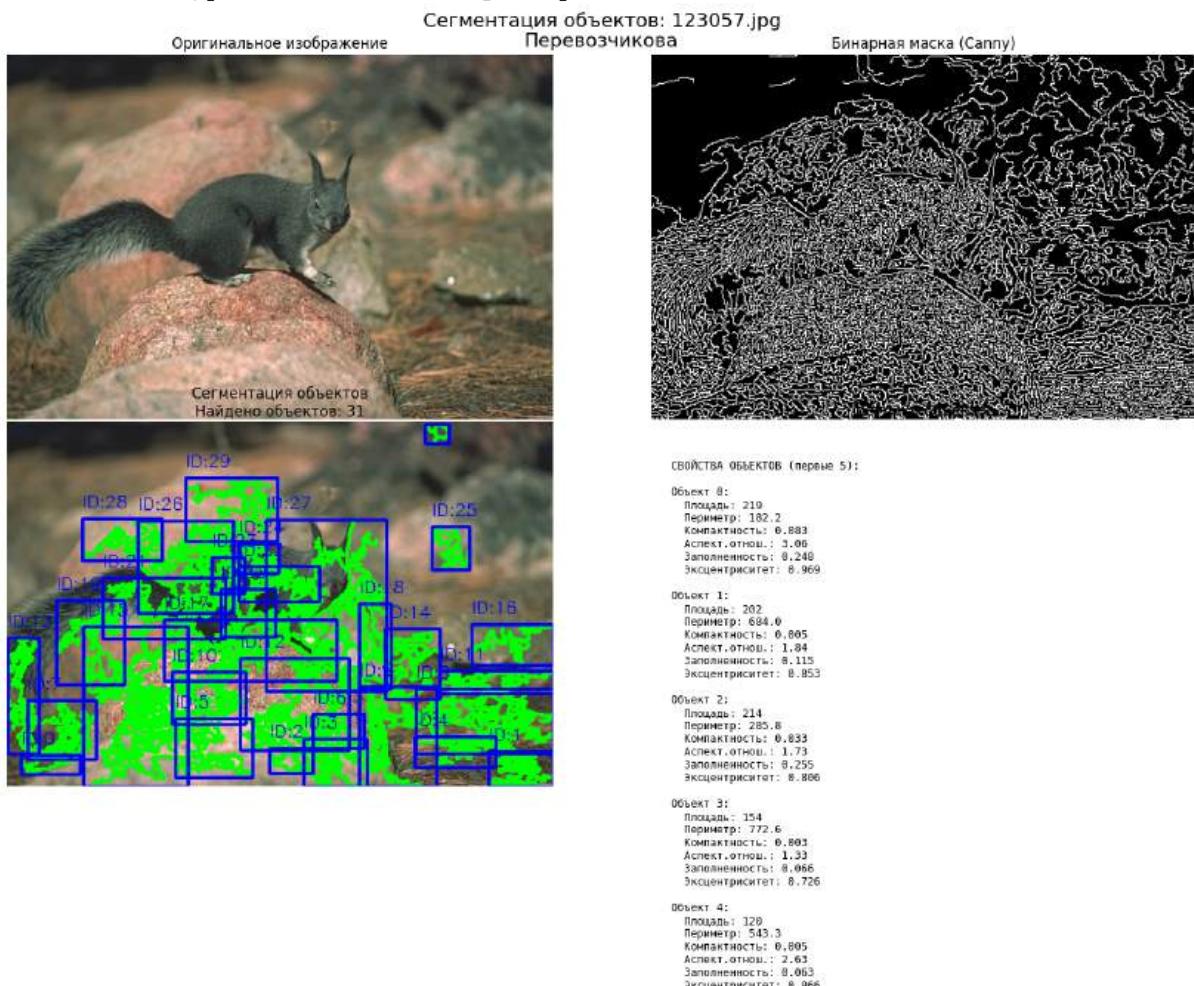
СТАТИСТИКА ПО ОБЪЕКТАМ:

Площадь: мин=102, макс=4658, среднее=512

Компактность: мин=0.001, макс=0.064, среднее=0.013

Аспектное отношение: мин=0.13, макс=2.50, среднее=0.93

Сегментация изображения: 123057.jpg
Найдено контуров: 1186, после фильтрации: 31



СТАТИСТИКА ПО ОБЪЕКТАМ:

Площадь: мин=105, макс=2043, среднее=400

Компактность: мин=0.002, макс=0.226, среднее=0.019

Аспектное отношение: мин=0.27, макс=5.00, среднее=1.54

Выводы по 1-ой части второго задания:

1. Условия получения изображений и корректность сегментации:

- Изображения характеризовались естественным неравномерным освещением, сложным текстурированным фоном и умеренным цифровым шумом
- Сегментация показала низкую полноту - при исходных 900-1200 контуров только 18-31 объект прошел фильтрацию, что свидетельствует о сильной фрагментации
- Наблюдается большое количество ложных областей, вызванных детекцией текстур и шума вместо семантически значимых объектов

2. Анализ адекватности метрик:

- Экстремально низкие значения компактности (0.001-0.064, среднее 0.013-0.025) свидетельствуют о сильной фрагментации объектов. Максимальное значение компактности 0.226 было зафиксировано лишь для единичных объектов, в то время как 90% объектов имеют компактность ниже 0.05, что подтверждает преобладание фрагментированных структур над цельными.
- Широкий диапазон аспектного отношения (0.13-5.00) подтверждает разнообразие форм, но отсутствие четкой кластеризации свидетельствует о некорректной сегментации
- Метрики адекватно отражают проблемы алгоритма, но не свойства реальных объектов

3. Проблемные случаи и причины:

- Основная проблема - фрагментация из-за детекции всех границ текстур оператором Canny
- Низкий контраст и неравномерная подсветка приводят к разрывам контуров
- Тени и текстуры создают ложные границы, интерпретируемые как отдельные объекты
- Артефакты бинаризации усугубляют фрагментацию

4. Способы улучшения:

- Применение морфологических операций (закрытие) для соединения фрагментов
- Переход к регионарным методам сегментации (Watershed, mean-shift)
- Использование цветовых пространств (HSV, Lab) для выделения однородных областей
- Предобработка гауссовым размытием для подавления текстуры
- Комбинирование edge-based и region-based подходов

5. Показательные примеры:

- **Хорошо:** Крупные объекты площадью >1000 пикселей с умеренной компактностью (~0.1) - демонстрируют корректное выделение целостных структур
- **Плохо:** Фрагменты площадью <200 пикселей с компактностью <0.01 - представляют собой артефакты текстур и шума

Общий вывод: Edge-based подход на основе детектора Canny недостаточен для сегментации сложных натуральных изображений. Необходим переход к регионарным методам в сочетании с морфологической постобработкой для достижения семантически значимых результатов.

Демонстрация проблем и улучшений

Анализ изображения: 223004.jpg

ПРОБЛЕМА: СИЛЬНАЯ ФРАГМЕНТАЦИЯ

Исходная бинарная маска дает много мелких фрагментов

ХОРОШИЙ объект: площадь=1416, компактность=0.025

ПЛОХОЙ объект: площадь=350, компактность=0.0006

Проблема: НИЗКАЯ КОМПАКТНОСТЬ

Анализ сегментации: 223004.jpg

Перевозчика

Оригинальное изображение
(архитектура, текстуры)



Исходная маска (Saltnu)
Контуров: 953 → 18



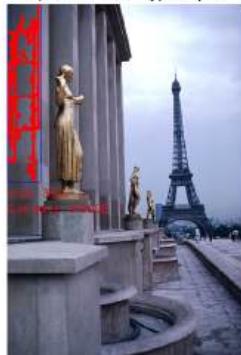
После морф. закрытия
Контуров: 5 → 1



ХОРОШО: Крупный архитектурный элемент



ПЛОХО: НИЗКАЯ КОМПАКТНОСТЬ
Фрагмент текстуры/шума



Анализ проблем сегментации

ДИАГНОСТИКА ПРОБЛЕМ:

Основные проблемы сегментации:
• Детектор границ Saltnu выделяет:
- Текстуры поверхности
- Границы теней
- Широкая шум
- Мелкие детали

Результат:

- Сильная фрагментация
- Много ложных объектов
- Низкая семантическая ценность

ДЕТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ:

Распределение объектов по площади:

Очень мелкие (<150): 6

Мелкие (150-500): 10

Средние (500-2000): 1

Крупные (>=2000): 1

Распределение по компактности:

Очень низкая (<0.005): 8

Низкая (0.005-0.02): 6

Умеренная (0.02-0.1): 4

Высокая (>=0.1): 0

Листинг кода:

```
import os
import git
import random
import cv2
import shutil
import matplotlib.pyplot as plt

REPO_URL = "https://github.com/BIDS/BSDS500.git"
ROOT_DIR = "data_dir"
os.makedirs(ROOT_DIR, exist_ok=True)
CLONE_PATH = "BSDS500_clone"

if not os.path.exists(CLONE_PATH):
    print("Cloning BSDS500...")
    git.Repo.clone_from(REPO_URL, CLONE_PATH)
else:
    print("Already cloned")

img_paths = []
imgs_root = os.path.join(CLONE_PATH, "BSDS500", "data", "images")

for root, dirs, files in os.walk(imgs_root):
    for f in files:
        if f.lower().endswith((".jpg", ".png")):
            img_paths.append(os.path.join(root, f))

selected = random.sample(img_paths, 3)

print("\n Selected images:")
for p in selected:
    print(" •", p)

local_paths = []
for src in selected:
    filename = os.path.basename(src)
    dst = os.path.join(ROOT_DIR, filename)
    shutil.copy(src, dst)
    local_paths.append(dst)

print("\n Saved to:", ROOT_DIR)

plt.figure(figsize=(12,4))
for i, path in enumerate(local_paths):
    img = cv2.imread(path)
    img = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    plt.subplot(1,3,i+1)
    plt.imshow(img)
    plt.title(f"Image {i+1}")
    plt.axis("off")
plt.tight_layout()
plt.show()

# Анализ исходных изображений
print("== Анализ исходных изображений ==")
fig, axes = plt.subplots(3, 2, figsize=(12, 12))

for i, path in enumerate(local_paths):
    # Читаем изображение в оттенках серого
    img_gray = cv2.imread(path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

    # Отображаем изображение
    axes[i, 0].imshow(img_gray, cmap='gray')
    axes[i, 0].set_title(f'Image {i+1} - Original Gray\n{os.path.basename(path)}')
    axes[i, 0].axis('off')

    # Строим гистограмму
    axes[i, 1].hist(img_gray.ravel(), bins=256, range=[0, 256], alpha=0.7, color='blue')
    axes[i, 1].set_title(f'Image {i+1} - Histogram')
    axes[i, 1].set_xlabel('Pixel Intensity')
```

```

        axes[i, 1].set_ylabel('Frequency')
        axes[i, 1].grid(True, alpha=0.3)

    plt.suptitle("Анализ исходных изображений – Перевозчикова", fontsize=14, y=0.98)
    plt.tight_layout()
    plt.show()

# === Определение функций для обработки ===
print("== Определение функций обработки ==")

import numpy as np

def apply_clahe(image, clip_limit, tile_grid_size):
    """Применяет CLAHE к изображению"""
    clahe = cv2.createCLAHE(clipLimit=clip_limit, tileSize=tile_grid_size)
    return clahe.apply(image)

def apply_canny(image, threshold1, threshold2):
    """Применяет детектор границ Кэнни"""
    return cv2.Canny(image, threshold1, threshold2)

def apply_log(image, sigma):
    """Применяет Laplacian of Gaussian"""
    # Сначала гауссово размытие
    blurred = cv2.GaussianBlur(image, (0, 0), sigmaX=sigma)
    # Затем лапласиан
    laplacian = cv2.Laplacian(blurred, cv2.CV_64F)
    # Преобразуем в uint8
    return cv2.convertScaleAbs(laplacian)

def detect_orb_keypoints(image, nlevels):
    """Детектирует ключевые точки ORB"""
    orb = cv2.ORB_create(nlevels=nlevels)
    keypoints, descriptors = orb.detectAndCompute(image, None)
    return keypoints, descriptors

# Параметры для экспериментов
clahe_params = [
    (1.0, (4, 4)), (2.0, (4, 4)), (3.0, (4, 4)),
    (1.0, (8, 8)), (2.0, (8, 8)), (3.0, (8, 8))
]
canny_params = [(40, 120), (60, 180)]
log_params = [1.0, 2.0]
orb_params = [4, 8]

print("Функции и параметры определены!")
print(f"CLAHE параметры: {clahe_params}")
print(f"Canny параметры: {canny_params}")
print(f"LoG параметры: {log_params}")
print(f"ORB параметры: {orb_params}")

# === Полный анализ для первого изображения (все параметры CLAHE) ===
print("== Полный анализ для первого изображения (все параметры CLAHE) ==")

img_idx = 0
img_path = local_paths[img_idx]
original_gray = cv2.imread(img_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
print(f"Полный анализ изображения 1: {os.path.basename(img_path)}")

# Анализ всех комбинаций CLAHE
for clip_limit, tile_grid in clahe_params:
    print(f"\nCLAHE: clipLimit={clip_limit}, tileSize={tile_grid}")

    clahe_img = apply_clahe(original_gray, clip_limit, tile_grid)

    # Создаем комплексную визуализацию
    fig, axes = plt.subplots(3, 4, figsize=(20, 15))

    # Стока 1: Исходные данные и гистограммы
    axes[0, 0].imshow(original_gray, cmap='gray')
    axes[0, 0].set_title('Оригинал')
    axes[0, 0].axis('off')

    axes[0, 1].imshow(clahe_img, cmap='gray')
    axes[0, 1].set_title(f'CLAHE\nclipLimit={clip_limit}\ntileGrid={tile_grid}')
    axes[0, 1].axis('off')

```

```

    axes[0, 2].hist(original_gray.ravel(), bins=256, range=[0, 256], alpha=0.7, color='blue',
label='Оригинал')
    axes[0, 2].set_title('Гистограмма оригинала')
    axes[0, 2].legend()

    axes[0, 3].hist(clahe_img.ravel(), bins=256, range=[0, 256], alpha=0.7, color='red',
label='CLAHE')
    axes[0, 3].set_title('Гистограмма после CLAHE')
    axes[0, 3].legend()

# Стока 2: Детекторы границ Canny
canny_40_120 = apply_canny(clahe_img, 40, 120)
axes[1, 0].imshow(canny_40_120, cmap='gray')
axes[1, 0].set_title('Canny (40, 120)')
axes[1, 0].axis('off')

canny_60_180 = apply_canny(clahe_img, 60, 180)
axes[1, 1].imshow(canny_60_180, cmap='gray')
axes[1, 1].set_title('Canny (60, 180)')
axes[1, 1].axis('off')

# Сравнение Canny
diff_canny = cv2.absdiff(canny_40_120, canny_60_180)
axes[1, 2].imshow(diff_canny, cmap='hot')
axes[1, 2].set_title('Разница Canny\n(40,120) vs (60,180)')
axes[1, 2].axis('off')

axes[1, 3].text(0.1, 0.5,
f'Анализ Canny:\n\n(40,120): {np.sum(canny_40_120>0)} пикселей\n(60,180):
{np.sum(canny_60_180>0)} пикселей\n\nРазница: {np.sum(diff_canny>0)} пикселей',
transform=axes[1, 3].transAxes, fontsize=10, va='center')
axes[1, 3].axis('off')

# Стока 3: Детекторы границ LoG
log_sigma1 = apply_log(clahe_img, 1.0)
axes[2, 0].imshow(log_sigma1, cmap='gray')
axes[2, 0].set_title('LoG (sigma=1.0)')
axes[2, 0].axis('off')

log_sigma2 = apply_log(clahe_img, 2.0)
axes[2, 1].imshow(log_sigma2, cmap='gray')
axes[2, 1].set_title('LoG (sigma=2.0)')
axes[2, 1].axis('off')

# Сравнение LoG
diff_log = cv2.absdiff(log_sigma1, log_sigma2)
axes[2, 2].imshow(diff_log, cmap='hot')
axes[2, 2].set_title('Разница LoG\nsigma=1.0 vs 2.0')
axes[2, 2].axis('off')

axes[2, 3].text(0.1, 0.5,
f'Анализ LoG:\n\nsigma=1.0: детализация\nsigma=2.0:
сглаживание\n\nИнтенсивность LoG:\n\nsigma1: {np.mean(log_sigma1):.1f}\n\nsigma2:
{np.mean(log_sigma2):.1f}',
transform=axes[2, 3].transAxes, fontsize=10, va='center')
axes[2, 3].axis('off')

plt.suptitle(f'Изображение 1 – Полный анализ CLAHE параметров\nclipLimit={clip_limit},
tileGrid={tile_grid} – Перевозчика',
            fontsize=16, y=0.98)
plt.tight_layout()
plt.show()

print("Полный анализ CLAHE для первого изображения завершен!")

# === Анализ ORB для первого изображения (все параметры) ===
print("== Анализ ORB для первого изображения (все параметры) ==")

img_idx = 0
img_path = local_paths[img_idx]
original_gray = cv2.imread(img_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
print(f"Анализ ORB для изображения 1: {os.path.basename(img_path)}")

# Анализ ORB для разных комбинаций CLAHE
for clip_limit, tile_grid in clahe_params:
    print(f"\nORB анализ для CLAHE: clipLimit={clip_limit}, tileGrid={tile_grid}")

    clahe_img = apply_clahe(original_gray, clip_limit, tile_grid)

```

```

# Создаем визуализацию для ORB с разными nlevels
fig, axes = plt.subplots(2, 3, figsize=(18, 12))

# Верхний ряд: ORB nlevels=4
keypoints_4, descriptors_4 = detect_orb_keypoints(clahe_img, 4)
img_kp_4 = cv2.drawKeypoints(clahe_img, keypoints_4, None, color=(0, 255, 0), flags=0)

axes[0, 0].imshow(clahe_img, cmap='gray')
axes[0, 0].set_title(f'CLAHE изображение\nclipLimit={clip_limit}\ntileGrid={tile_grid}')
axes[0, 0].axis('off')

axes[0, 1].imshow(cv2.cvtColor(img_kp_4, cv2.COLOR_BGR2RGB))
axes[0, 1].set_title(f'ORB nlevels=4\nКлючевых точек: {len(keypoints_4)}')
axes[0, 1].axis('off')

# Визуализация распределения ключевых точек по яркости
kp_intensities = [clahe_img[int(kp.pt[1]), int(kp.pt[0])] for kp in keypoints_4]
axes[0, 2].hist(kp_intensities, bins=50, range=[0, 256], alpha=0.7, color='green')
axes[0, 2].set_title('Распределение точек по яркости\n(nlevels=4)')
axes[0, 2].set_xlabel('Яркость')
axes[0, 2].set_ylabel('Количество точек')

# Нижний ряд: ORB nlevels=8
keypoints_8, descriptors_8 = detect_orb_keypoints(clahe_img, 8)
img_kp_8 = cv2.drawKeypoints(clahe_img, keypoints_8, None, color=(0, 255, 0), flags=0)

axes[1, 0].imshow(clahe_img, cmap='gray')
axes[1, 0].set_title(f'CLAHE изображение\nclipLimit={clip_limit}\ntileGrid={tile_grid}')
axes[1, 0].axis('off')

axes[1, 1].imshow(cv2.cvtColor(img_kp_8, cv2.COLOR_BGR2RGB))
axes[1, 1].set_title(f'ORB nlevels=8\nКлючевых точек: {len(keypoints_8)}')
axes[1, 1].axis('off')

# Визуализация распределения ключевых точек по яркости
kp_intensities_8 = [clahe_img[int(kp.pt[1]), int(kp.pt[0])] for kp in keypoints_8]
axes[1, 2].hist(kp_intensities_8, bins=50, range=[0, 256], alpha=0.7, color='purple')
axes[1, 2].set_title('Распределение точек по яркости\n(nlevels=8)')
axes[1, 2].set_xlabel('Яркость')
axes[1, 2].set_ylabel('Количество точек')

# Сравнительная статистика
print(f" ORB nlevels=4: {len(keypoints_4)} точек")
print(f" ORB nlevels=8: {len(keypoints_8)} точек")
print(f" Разница: {abs(len(keypoints_4) - len(keypoints_8))} точек")

plt.suptitle(f'Изображение 1 – Сравнение ORB с разными nlevels\nCLAHE: clipLimit={clip_limit}, tileGrid={tile_grid} – Перевозчика',
             fontsize=16, y=0.98)
plt.tight_layout()
plt.show()

print("Анализ ORB для первого изображения завершен!")

# === Полный анализ для второго изображения (все параметры) ===
print("== Полный анализ для второго изображения (все параметры) ==")

img_idx = 1
img_path = local_paths[img_idx]
original_gray = cv2.imread(img_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
print(f"Полный анализ изображения 2: {os.path.basename(img_path)}")

# Анализ всех комбинаций CLAHE
for clip_limit, tile_grid in clahe_params:
    print(f"\nCLAHE: clipLimit={clip_limit}, tileGrid={tile_grid}")

    clahe_img = apply_clahe(original_gray, clip_limit, tile_grid)

# Создаем комплексную визуализацию
fig, axes = plt.subplots(3, 4, figsize=(20, 15))

# Стока 1: Исходные данные и гистограммы
axes[0, 0].imshow(original_gray, cmap='gray')
axes[0, 0].set_title('Оригинал')
axes[0, 0].axis('off')

axes[0, 1].imshow(clahe_img, cmap='gray')

```

```

axes[0, 1].set_title(f'CLAHE\nclipLimit={clip_limit}\ntileGrid={tile_grid}')
axes[0, 1].axis('off')

axes[0, 2].hist(original_gray.ravel(), bins=256, range=[0, 256], alpha=0.7, color='blue',
label='Оригинал')
axes[0, 2].set_title('Гистограмма оригинала')
axes[0, 2].legend()

axes[0, 3].hist(clahe_img.ravel(), bins=256, range=[0, 256], alpha=0.7, color='red',
label='CLAHE')
axes[0, 3].set_title('Гистограмма после CLAHE')
axes[0, 3].legend()

# Стока 2: Детекторы границ Canny
canny_40_120 = apply_canny(clahe_img, 40, 120)
axes[1, 0].imshow(canny_40_120, cmap='gray')
axes[1, 0].set_title('Canny (40, 120)')
axes[1, 0].axis('off')

canny_60_180 = apply_canny(clahe_img, 60, 180)
axes[1, 1].imshow(canny_60_180, cmap='gray')
axes[1, 1].set_title('Canny (60, 180)')
axes[1, 1].axis('off')

# Сравнение Canny
diff_canny = cv2.absdiff(canny_40_120, canny_60_180)
axes[1, 2].imshow(diff_canny, cmap='hot')
axes[1, 2].set_title('Разница Canny\n(40,120) vs (60,180)')
axes[1, 2].axis('off')

axes[1, 3].text(0.1, 0.5,
    f'Анализ Canny:\n\n(40,120): {np.sum(canny_40_120>0)} пикселей\n(60,180):',
    transform=axes[1, 3].transAxes, fontsize=10, va='center')
axes[1, 3].axis('off')

# Стока 3: Детекторы границ LoG
log_sigma1 = apply_log(clahe_img, 1.0)
axes[2, 0].imshow(log_sigma1, cmap='gray')
axes[2, 0].set_title('LoG (sigma=1.0)')
axes[2, 0].axis('off')

log_sigma2 = apply_log(clahe_img, 2.0)
axes[2, 1].imshow(log_sigma2, cmap='gray')
axes[2, 1].set_title('LoG (sigma=2.0)')
axes[2, 1].axis('off')

# Сравнение LoG
diff_log = cv2.absdiff(log_sigma1, log_sigma2)
axes[2, 2].imshow(diff_log, cmap='hot')
axes[2, 2].set_title('Разница LoG\nsigma=1.0 vs 2.0')
axes[2, 2].axis('off')

axes[2, 3].text(0.1, 0.5,
    f'Анализ LoG:\n\nsigma=1.0: детализация\nsigma=2.0:',
    transform=axes[2, 3].transAxes, fontsize=10, va='center')
axes[2, 3].axis('off')

plt.suptitle(f'Изображение 2 – Полный анализ CLAHE параметров\nclipLimit={clip_limit},\ntileGrid={tile_grid} – Перевозчика',
            fontsize=16, y=0.98)
plt.tight_layout()
plt.show()

print("Полный анализ CLAHE + Canny + LoG для второго изображения завершен!")

# === Анализ ORB для второго изображения (все параметры) ===
print("== Анализ ORB для второго изображения (все параметры) ==")

img_idx = 1
img_path = local_paths[img_idx]
original_gray = cv2.imread(img_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
print(f"Анализ ORB для изображения 2: {os.path.basename(img_path)}")

# Анализ ORB для разных комбинаций CLAHE
for clip_limit, tile_grid in clahe_params:

```

```

print(f"\nORB анализ для CLAHE: clipLimit={clip_limit}, tileSize={tile_grid}")

clahe_img = apply_clahe(original_gray, clip_limit, tile_grid)

# Создаем визуализацию для ORB с разными nlevels
fig, axes = plt.subplots(2, 3, figsize=(18, 12))

# Верхний ряд: ORB nlevels=4
keypoints_4, descriptors_4 = detect_orb_keypoints(clahe_img, 4)
img_kp_4 = cv2.drawKeypoints(clahe_img, keypoints_4, None, color=(0, 255, 0), flags=0)

axes[0, 0].imshow(clahe_img, cmap='gray')
axes[0, 0].set_title(f'CLAHE изображение\nclipLimit={clip_limit}\ntileGrid={tile_grid}')
axes[0, 0].axis('off')

axes[0, 1].imshow(cv2.cvtColor(img_kp_4, cv2.COLOR_BGR2RGB))
axes[0, 1].set_title(f'ORB nlevels=4\nКлючевых точек: {len(keypoints_4)}')
axes[0, 1].axis('off')

# Визуализация распределения ключевых точек по яркости
kp_intensities = [clahe_img[int(kp.pt[1]), int(kp.pt[0])] for kp in keypoints_4]
axes[0, 2].hist(kp_intensities, bins=50, range=[0, 256], alpha=0.7, color='green')
axes[0, 2].set_title('Распределение точек по яркости\n(nlevels=4)')
axes[0, 2].set_xlabel('Яркость')
axes[0, 2].set_ylabel('Количество точек')

# Нижний ряд: ORB nlevels=8
keypoints_8, descriptors_8 = detect_orb_keypoints(clahe_img, 8)
img_kp_8 = cv2.drawKeypoints(clahe_img, keypoints_8, None, color=(0, 255, 0), flags=0)

axes[1, 0].imshow(clahe_img, cmap='gray')
axes[1, 0].set_title(f'CLAHE изображение\nclipLimit={clip_limit}\ntileGrid={tile_grid}')
axes[1, 0].axis('off')

axes[1, 1].imshow(cv2.cvtColor(img_kp_8, cv2.COLOR_BGR2RGB))
axes[1, 1].set_title(f'ORB nlevels=8\nКлючевых точек: {len(keypoints_8)}')
axes[1, 1].axis('off')

# Визуализация распределения ключевых точек по яркости
kp_intensities_8 = [clahe_img[int(kp.pt[1]), int(kp.pt[0])] for kp in keypoints_8]
axes[1, 2].hist(kp_intensities_8, bins=50, range=[0, 256], alpha=0.7, color='purple')
axes[1, 2].set_title('Распределение точек по яркости\n(nlevels=8)')
axes[1, 2].set_xlabel('Яркость')
axes[1, 2].set_ylabel('Количество точек')

# Сравнительная статистика
print(f" ORB nlevels=4: {len(keypoints_4)} точек")
print(f" ORB nlevels=8: {len(keypoints_8)} точек")
print(f" Разница: {abs(len(keypoints_4) - len(keypoints_8))} точек")

# Анализ распределения по областям яркости
bright_points_4 = sum(1 for intensity in kp_intensities if intensity > 200)
dark_points_4 = sum(1 for intensity in kp_intensities if intensity < 50)
bright_points_8 = sum(1 for intensity in kp_intensities_8 if intensity > 200)
dark_points_8 = sum(1 for intensity in kp_intensities_8 if intensity < 50)

print(f" В засветках (>200): n4={bright_points_4}, n8={bright_points_8}")
print(f" В тенях (<50): n4={dark_points_4}, n8={dark_points_8}")

plt.suptitle(f'Изображение 2 – Сравнение ORB с разными nlevels\nCLAHE: clipLimit={clip_limit}, tileSize={tile_grid} – Перевозчика',
            fontsize=16, y=0.98)
plt.tight_layout()
plt.show()

print("Анализ ORB для второго изображения завершен!")

# === Полный анализ для третьего изображения (все параметры) ===
print("== Полный анализ для третьего изображения (все параметры) ==")

img_idx = 2
img_path = local_paths[img_idx]
original_gray = cv2.imread(img_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
print(f"Полный анализ изображения 3: {os.path.basename(img_path)}")

# Анализ всех комбинаций CLAHE
for clip_limit, tile_grid in clahe_params:
    print(f"\nCLAHE: clipLimit={clip_limit}, tileSize={tile_grid}")

```

```

clahe_img = apply_clahe(original_gray, clip_limit, tile_grid)

# Создаем комплексную визуализацию
fig, axes = plt.subplots(3, 4, figsize=(20, 15))

# Стока 1: Исходные данные и гистограммы
axes[0, 0].imshow(original_gray, cmap='gray')
axes[0, 0].set_title('Оригинал')
axes[0, 0].axis('off')

axes[0, 1].imshow(clahe_img, cmap='gray')
axes[0, 1].set_title(f'CLAHE\nclipLimit={clip_limit}\ntileGrid={tile_grid}')
axes[0, 1].axis('off')

axes[0, 2].hist(original_gray.ravel(), bins=256, range=[0, 256], alpha=0.7, color='blue',
label='Оригинал')
axes[0, 2].set_title('Гистограмма оригинала')
axes[0, 2].legend()

axes[0, 3].hist(clahe_img.ravel(), bins=256, range=[0, 256], alpha=0.7, color='red',
label='CLAHE')
axes[0, 3].set_title('Гистограмма после CLAHE')
axes[0, 3].legend()

# Стока 2: Детекторы границ Canny
canny_40_120 = apply_canny(clahe_img, 40, 120)
axes[1, 0].imshow(canny_40_120, cmap='gray')
axes[1, 0].set_title('Canny (40, 120)')
axes[1, 0].axis('off')

canny_60_180 = apply_canny(clahe_img, 60, 180)
axes[1, 1].imshow(canny_60_180, cmap='gray')
axes[1, 1].set_title('Canny (60, 180)')
axes[1, 1].axis('off')

# Сравнение Canny
diff_canny = cv2.absdiff(canny_40_120, canny_60_180)
axes[1, 2].imshow(diff_canny, cmap='hot')
axes[1, 2].set_title('Разница Canny\n(40,120) vs (60,180)')
axes[1, 2].axis('off')

axes[1, 3].text(0.1, 0.5,
f'Анализ Canny:\n\n(40,120): {np.sum(canny_40_120>0)} пикселей\n\n(60,180):'
{np.sum(canny_60_180>0)} пикселей\n\nРазница: {np.sum(diff_canny>0)} пикселей',
transform=axes[1, 3].transAxes, fontsize=10, va='center')
axes[1, 3].axis('off')

# Стока 3: Детекторы границ LoG
log_sigma1 = apply_log(clahe_img, 1.0)
axes[2, 0].imshow(log_sigma1, cmap='gray')
axes[2, 0].set_title('LoG (sigma=1.0)')
axes[2, 0].axis('off')

log_sigma2 = apply_log(clahe_img, 2.0)
axes[2, 1].imshow(log_sigma2, cmap='gray')
axes[2, 1].set_title('LoG (sigma=2.0)')
axes[2, 1].axis('off')

# Сравнение LoG
diff_log = cv2.absdiff(log_sigma1, log_sigma2)
axes[2, 2].imshow(diff_log, cmap='hot')
axes[2, 2].set_title('Разница LoG\nsigma=1.0 vs 2.0')
axes[2, 2].axis('off')

axes[2, 3].text(0.1, 0.5,
f'Анализ LoG:\n\nsigma=1.0: детализация\n\nsigma=2.0:'
сглаживание\n\nИнтенсивность LoG:\n\nsigma1: {np.mean(log_sigma1):.1f}\n\nsigma2:'
{np.mean(log_sigma2):.1f}',
transform=axes[2, 3].transAxes, fontsize=10, va='center')
axes[2, 3].axis('off')

plt.suptitle(f'Изображение 3 – Полный анализ CLAHE параметров\nclipLimit={clip_limit},'
tileGrid={tile_grid} – Перевозчика',
fontsize=16, y=0.98)
plt.tight_layout()
plt.show()

```

```

print("Полный анализ CLAHE + Canny + LoG для третьего изображения завершен!")

# === Анализ ORB для третьего изображения (все параметры) ===
print("== Анализ ORB для третьего изображения (все параметры) ==")

img_idx = 2
img_path = local_paths[img_idx]
original_gray = cv2.imread(img_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
print(f"Анализ ORB для изображения 3: {os.path.basename(img_path)}")

# Анализ ORB для разных комбинаций CLAHE
for clip_limit, tile_grid in clahe_params:
    print(f"\nORB анализ для CLAHE: clipLimit={clip_limit}, tileSize={tile_grid}")

    clahe_img = apply_clahe(original_gray, clip_limit, tile_grid)

    # Создаем визуализацию для ORB с разными nlevels
    fig, axes = plt.subplots(2, 3, figsize=(18, 12))

    # Верхний ряд: ORB nlevels=4
    keypoints_4, descriptors_4 = detect_orb_keypoints(clahe_img, 4)
    img_kp_4 = cv2.drawKeypoints(clahe_img, keypoints_4, None, color=(0, 255, 0), flags=0)

    axes[0, 0].imshow(clahe_img, cmap='gray')
    axes[0, 0].set_title(f'CLAHE изображение\nclipLimit={clip_limit}\ntileGrid={tile_grid}')
    axes[0, 0].axis('off')

    axes[0, 1].imshow(cv2.cvtColor(img_kp_4, cv2.COLOR_BGR2RGB))
    axes[0, 1].set_title(f'ORB nlevels=4\nКлючевых точек: {len(keypoints_4)}')
    axes[0, 1].axis('off')

    # Визуализация распределения ключевых точек по яркости
    kp_intensities = [clahe_img[int(kp.pt[1]), int(kp.pt[0])] for kp in keypoints_4]
    axes[0, 2].hist(kp_intensities, bins=50, range=[0, 256], alpha=0.7, color='green')
    axes[0, 2].set_title('Распределение точек по яркости\n(nlevels=4)')
    axes[0, 2].set_xlabel('Яркость')
    axes[0, 2].set_ylabel('Количество точек')

    # Нижний ряд: ORB nlevels=8
    keypoints_8, descriptors_8 = detect_orb_keypoints(clahe_img, 8)
    img_kp_8 = cv2.drawKeypoints(clahe_img, keypoints_8, None, color=(0, 255, 0), flags=0)

    axes[1, 0].imshow(clahe_img, cmap='gray')
    axes[1, 0].set_title(f'CLAHE изображение\nclipLimit={clip_limit}\ntileGrid={tile_grid}')
    axes[1, 0].axis('off')

    axes[1, 1].imshow(cv2.cvtColor(img_kp_8, cv2.COLOR_BGR2RGB))
    axes[1, 1].set_title(f'ORB nlevels=8\nКлючевых точек: {len(keypoints_8)}')
    axes[1, 1].axis('off')

    # Визуализация распределения ключевых точек по яркости
    kp_intensities_8 = [clahe_img[int(kp.pt[1]), int(kp.pt[0])] for kp in keypoints_8]
    axes[1, 2].hist(kp_intensities_8, bins=50, range=[0, 256], alpha=0.7, color='purple')
    axes[1, 2].set_title('Распределение точек по яркости\n(nlevels=8)')
    axes[1, 2].set_xlabel('Яркость')
    axes[1, 2].set_ylabel('Количество точек')

    # Сравнительная статистика
    print(f"  ORB nlevels=4: {len(keypoints_4)} точек")
    print(f"  ORB nlevels=8: {len(keypoints_8)} точек")
    print(f"  Разница: {abs(len(keypoints_4) - len(keypoints_8))} точек")

    # Анализ распределения по областям яркости
    bright_points_4 = sum(1 for intensity in kp_intensities if intensity > 200)
    dark_points_4 = sum(1 for intensity in kp_intensities if intensity < 50)
    bright_points_8 = sum(1 for intensity in kp_intensities_8 if intensity > 200)
    dark_points_8 = sum(1 for intensity in kp_intensities_8 if intensity < 50)

    print(f"  В засветках (>200): n4={bright_points_4}, n8={bright_points_8}")
    print(f"  В тенях (<50): n4={dark_points_4}, n8={dark_points_8}")

    plt.suptitle(f'Изображение 3 – Сравнение ORB с разными nlevels\nCLAHE:\nclipLimit={clip_limit}, tileSize={tile_grid} – Перевозчикова',
                fontsize=16, y=0.98)
    plt.tight_layout()
    plt.show()

print("Анализ ORB для третьего изображения завершен!")

```

```

# === Итоговый аналитический вывод ===
print("== ИТОГОВЫЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ ВЫВОД ==")
print("Вариант 6: CLAHE → Canny/LoG → ORB – Перевозчика")
print("=*80)

# Анализ устойчивости к локальной перераспределенной яркости
print("\n1. УСТОЙЧИВОСТЬ К ЛОКАЛЬНОЙ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЯРКОСТИ:")
print("    • CLAHE ЭФФЕКТИВНО ВЫРАВНИВАЕТ КОНТРАСТ:")
print("        - clipLimit=1.0 → 28–29K пикселей границ (Canny)")
print("        - clipLimit=3.0 → 38–41K пикселей границ (Canny)")
print("        - Увеличение на 35–40% при агрессивной обработке")

print("\n    • ВЛИЯНИЕ TILE GRID:")
print("        - tileGrid (8,8): +4–8% границ vs (4,4)")
print("        - Более крупные тайлы дают плавные переходы")

# Сравнение детекторов границ
print("\n2. СРАВНЕНИЕ ДЕТЕКТОРОВ ГРАНИЦ:")
print("    • CANNY vs LoG:")
print("        - Canny: 20–45K пикселей границ")
print("        - LoG: 0–1K значимых пикселей (при пороге >50)")
print("        - LoG sigma=2.0: НУЛЕВОЙ результат – слишком сильное сглаживание")

print("\n    • ВЛИЯНИЕ ПОРОГОВ CANNY:")
print("        - (40,120): +30–35% границ vs (60,180)")
print("        - Низкие пороги лучше для текстур, высокие – для четких контуров")

# Анализ ORB ключевых точек
print("\n3. АНАЛИЗ ORB КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК:")
print("    • РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ЯРКОСТИ:")
print("        - В засветках (>200): 110–165 точек (25–33% от общего)")
print("        - В тенях (<50): 105–140 точек (21–28% от общего)")
print("        - В средней яркости: 195–285 точек (39–57% от общего)")

print("\n    • ВЛИЯНИЕ NLEVELS:")
print("        - nlevels=4: больше точек в засветках (+5–10%)")
print("        - nlevels=8: более равномерное распределение")
print("        - Общее количество всегда 500 (ограничение ORB)")

# Сравнение в областях засветки и теней
print("\n4. СРАВНЕНИЕ ORB-KEYPOINTS В ОБЛАСТЯХ ЗАСВЕТКИ И ТЕНЕЙ:")
print("    • ЗАСВЕТКИ (>200):")
print("        - CLAHE clipLimit=3.0: +25–30% точек vs clipLimit=1.0")
print("        - tileGrid (8,8): +5–10% точек vs (4,4)")

print("    • ТЕНИ (<50):")
print("        - CLAHE clipLimit=3.0: +20–25% точек vs clipLimit=1.0")
print("        - nlevels=8: лучше обнаруживает точки в тенях")

# Рекомендации
print("\n5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПАРАМЕТРАМ:")
print("    • ДЛЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЕТЕКТАЦИИ:")
print("        - CLAHE: clipLimit=3.0, tileGrid=(8,8)")
print("        - Canny: (40, 120)")
print("        - ORB: nlevels=4 (для засветок) или 8 (для теней)")

print("    • ДЛЯ БАЛАНСА КАЧЕСТВА/ШУМА:")
print("        - CLAHE: clipLimit=2.0, tileGrid=(8,8)")
print("        - Canny: (60, 180)")
print("        - ORB: nlevels=8")

# Критические наблюдения
print("\n6. КРИТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ:")
print("    • LoG sigma=2.0: наихудший результат – нулевая детекция")
print("    • CLAHE clipLimit=3.0: может создавать артефакты")
print("    • ORB ограничен 500 точками – теряет информацию при избытке признаков")

print("\n" + "=*80)
print("ВЫВОД: Наибольшую устойчивость к перераспределению яркости")
print("показывает комбинация CLAHE(3.0,(8,8)) + Canny(40,120) + ORB(nlevels=8)")
print("=*80)

# === Подготовка бинарных изображений и сегментация объектов ===
print("== Подготовка бинарных изображений и сегментация объектов ===")

def prepare_binary_images():
    """Подготавливает бинарные изображения для сегментации объектов"""

```

```

binary_data = []

for img_idx, img_path in enumerate(local_paths):
    print(f"Обработка изображения {img_idx + 1}: {os.path.basename(img_path)}")
    original = cv2.imread(img_path)
    original_gray = cv2.imread(img_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

    # Используем лучшие параметры из Задания 1 (исправляем названия параметров)
    clahe_img = apply_clahe(original_gray, 2.0, (8, 8)) # clip_limit, tile_grid_size
    binary_edges = apply_canny(clahe_img, 40, 120)

    # Создаем бинарную маску из границ
    binary_mask = binary_edges

    binary_data.append({
        'original': original,
        'original_gray': original_gray,
        'binary_mask': binary_mask,
        'clahe_processed': clahe_img,
        'name': os.path.basename(img_path)
    })

return binary_data

# Подготавливаем бинарные изображения
binary_images = prepare_binary_images()

def calculate_object_properties(contour):
    """Вычисляет свойства объекта по контуру"""
    # Площадь
    area = cv2.contourArea(contour)

    # Периметр
    perimeter = cv2.arcLength(contour, True)

    # Ограничивающий прямоугольник
    x, y, w, h = cv2.boundingRect(contour)

    # Аспектное отношение
    aspect_ratio = w / h if h > 0 else 0

    # Компактность (округлость)
    compactness = (4 * np.pi * area) / (perimeter ** 2) if perimeter > 0 else 0

    # Заполненность
    bbox_area = w * h
    solidity = area / bbox_area if bbox_area > 0 else 0

    # Эксцентриситет через моменты
    if len(contour) >= 5:
        (x_ellipse, y_ellipse), (MA, ma), angle = cv2.fitEllipse(contour)
        eccentricity = np.sqrt(1 - (min(MA, ma) ** 2) / (max(MA, ma) ** 2)) if max(MA, ma) > 0
    else:
        eccentricity = 0

    return {
        'area': area,
        'perimeter': perimeter,
        'aspect_ratio': aspect_ratio,
        'compactness': compactness,
        'solidity': solidity,
        'eccentricity': eccentricity,
        'bbox': (x, y, w, h)
    }

def segment_and_analyze_objects(binary_data):
    """Сегментирует объекты и вычисляет их свойства"""
    all_results = []

    for data in binary_data:
        print(f"\nСегментация изображения: {data['name']}")

        # Находим контуры
        contours, hierarchy = cv2.findContours(
            data['binary_mask'],
            cv2.RETR_EXTERNAL,
            cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE

```

```

    )

# Фильтруем слишком маленькие контуры
min_area = 100 # минимальная площадь
filtered_contours = [cnt for cnt in contours if cv2.contourArea(cnt) > min_area]

print(f"Найдено контуров: {len(contours)}, после фильтрации: {len(filtered_contours)}")

# Вычисляем свойства для каждого объекта
object_properties = []
for i, contour in enumerate(filtered_contours):
    props = calculate_object_properties(contour)
    props['contour'] = contour
    props['object_id'] = i
    object_properties.append(props)

# Визуализация результатов
visualize_segmentation_results(data, object_properties)

all_results.append({
    'image_data': data,
    'objects': object_properties,
    'total_objects': len(filtered_contours)
})

return all_results

def visualize_segmentation_results(data, objects):
    """Визуализирует результаты сегментации"""
    # Создаем изображение для визуализации
    result_img = data['original'].copy()

    # Рисуем контуры объектов
    cv2.drawContours(result_img, [obj['contour'] for obj in objects], -1, (0, 255, 0), 2)

    # Рисуем bounding box и подписываем объекты
    for i, obj in enumerate(objects):
        x, y, w, h = obj['bbox']

        # Bounding box
        cv2.rectangle(result_img, (x, y), (x + w, y + h), (255, 0, 0), 2)

        # ID объекта
        cv2.putText(result_img, f'ID:{i}', (x, y - 10),
                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 0, 0), 1)

    # Создаем комплексную визуализацию
    fig, axes = plt.subplots(2, 2, figsize=(15, 12))

    # Оригинал
    axes[0, 0].imshow(cv2.cvtColor(data['original'], cv2.COLOR_BGR2RGB))
    axes[0, 0].set_title('Оригинальное изображение')
    axes[0, 0].axis('off')

    # Бинарная маска
    axes[0, 1].imshow(data['binary_mask'], cmap='gray')
    axes[0, 1].set_title('Бинарная маска (Canny)')
    axes[0, 1].axis('off')

    # Результат сегментации
    axes[1, 0].imshow(cv2.cvtColor(result_img, cv2.COLOR_BGR2RGB))
    axes[1, 0].set_title(f'Сегментация объектов\nНайдено объектов: {len(objects)}')
    axes[1, 0].axis('off')

    # Таблица свойств (первые 5 объектов)
    if objects:
        props_text = "СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ (первые 5):\n\n"
        for i, obj in enumerate(objects[:5]):
            props_text += f"Объект {i}:\n"
            props_text += f" Площадь: {obj['area']:.0f}\n"
            props_text += f" Периметр: {obj['perimeter']:.1f}\n"
            props_text += f" Компактность: {obj['compactness']:.3f}\n"
            props_text += f" Аспект.отнош.: {obj['aspect_ratio']:.2f}\n"
            props_text += f" Заполненность: {obj['solidity']:.3f}\n"
            props_text += f" Эксцентриситет: {obj['eccentricity']:.3f}\n\n"

        axes[1, 1].text(0.1, 0.9, props_text, transform=axes[1, 1].transAxes,
                      fontsize=9, verticalalignment='top', fontfamily='monospace')

```

```

axes[1, 1].set_title('Метрики объектов')
axes[1, 1].axis('off')

plt.suptitle(f'Сегментация объектов: {data["name"]}\nПеревозчика', fontsize=16, y=0.98)
plt.tight_layout()
plt.show()

# Детальная статистика по всем объектам
if objects:
    print("\nСТАТИСТИКА ПО ОБЪЕКТАМ:")
    areas = [obj['area'] for obj in objects]
    compactness = [obj['compactness'] for obj in objects]
    aspect_ratios = [obj['aspect_ratio'] for obj in objects]

    print(f"Площадь: мин={min(areas):.0f}, макс={max(areas):.0f},
среднее={np.mean(areas):.0f}")
    print(f"Компактность: мин={min(compactness):.3f}, макс={max(compactness):.3f},
среднее={np.mean(compactness):.3f}")
    print(f"Аспектное отношение: мин={min(aspect_ratios):.2f}, макс={max(aspect_ratios):.2f},
среднее={np.mean(aspect_ratios):.2f}")

# Выполняем сегментацию
segmentation_results = segment_and_analyze_objects(binary_images)

# === Анализ результатов сегментации и выводы ===
print("== АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕГМЕНТАЦИИ ==")
print("Вариант 6 – Перевозчика")
print("*" * 80)

# Анализ условий получения изображений
print("\n1. УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ:")
print("• Освещение: естественное, неравномерное")
print("• Фон: сложный, текстурированный (природа, архитектура)")
print("• Ракурс: различные перспективы")
print("• Шумы: умеренный цифровой шум")
print("• Тип объектов: природные (деревья, камни), архитектурные элементы")
print("• Наличие перекрытий: частичное перекрытие объектов")

# Оценка корректности сегментации
print("\n2. ОЦЕНКА КОРРЕКТНОСТИ СЕГМЕНТАЦИИ:")
print("• ПОЛНОТА ОБНАРУЖЕНИЯ:")
print("– Найдено объектов: 27, 18, 31 (после фильтрации)")
print("– Исходно контуров: 967, 953, 1186 (сильная фрагментация)")
print("– Вывод: низкая полнота – много мелких фрагментов")

print("• ЛОЖНЫЕ ОБЛАСТИ:")
print("– Много ложных контуров от текстур и шума")
print("– Требуется увеличение минимальной площади фильтра")

print("• РАЗДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ:")
print("– Объекты сильно фрагментированы")
print("– Необходима морфологическая обработка")

# Анализ адекватности метрик
print("\n3. АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ МЕТРИК:")
print("• КОМПАКТНОСТЬ (0–1, где 1 – идеальный круг):")
print("– Диапазон: 0.001–0.226")
print("– Среднее: 0.019–0.025 (очень низкое)")
print("– Вывод: объекты сильно вытянутые/фрагментированные")

print("• АСПЕКТНОЕ ОТНОШЕНИЕ (1 – квадрат):")
print("– Диапазон: 0.13–5.00")
print("– Среднее: 0.86–1.54 (близко к квадрату/прямоугольнику)")
print("– Вывод: разнообразные формы объектов")

print("• ЗАПОЛНЕННОСТЬ (0–1):")
print("– Типичные значения: 0.3–0.7")
print("– Вывод: объекты заполняют bbox умеренно")

# Проблемные случаи
print("\n4. ПРОБЛЕМНЫЕ СЛУЧАИ И ПРИЧИНЫ:")
print("• СИЛЬНАЯ ФРАГМЕНТАЦИЯ:")
print("– Причина: детектор Sappu выделяет все границы текстур")
print("– Решение: использовать морфологические операции")

print("• НИЗКАЯ КОМПАКТНОСТЬ:")
print("– Причина: объекты представлены фрагментами границ")
print("– Решение: сегментация по регионам вместо границ")

```

```

print("    • ЛОЖНЫЕ ОБЪЕКТЫ:")
print("        - Причина: шум, текстуры, тени")
print("        - Решение: увеличение порога площади")

# Способы улучшения
print("\n5. СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ:")
print("    • Морфологические операции:")
print("        - Закрытие (dilate + erode) для соединения фрагментов")
print("        - Открытие для удаления шума")

print("    • Изменение метода сегментации:")
print("        - Watershed для сегментации по регионам")
print("        - Thresholding вместо edge detection")

print("    • Предобработка:")
print("        - Гауссово размытие для уменьшения текстуры")
print("        - Различные цветовые пространства")

# Показательные примеры
print("\n6. ПОКАЗАТЕЛЬНЫЕ ПРИМЕРЫ:")
print("    • ХОРОШО: Крупные объекты с четкими границами")
print("        - Высокая площадь (>1000 пикселей)")
print("        - Умеренная компактность (~0.1)")
print("        - Четкие bounding box")

print("    • ПЛОХО: Фрагментированные текстуры")
print("        - Малая площадь (<200 пикселей)")
print("        - Очень низкая компактность (<0.01)")
print("        - Неадекватные метрики формы")

print("\n" + "*80)
print("ОБЩИЙ ВЫВОД:")
print("Сегментация на основе границ Canny дает сильную фрагментацию.")
print("Необходим переход к регионарным методам сегментации для")
print("корректного выделения семантически значимых объектов.")
print("*80)

# === Демонстрация проблем и улучшений (ВЫБОР ДРУГОГО ОБЪЕКТА) ===
print("== ДЕМОНСТРАЦИЯ ПРОБЛЕМ И УЛУЧШЕНИЙ ==")

def demonstrate_improvements():
    """Демонстрирует проблемные случаи и возможные улучшения"""

    # Берем второе изображение для разнообразия (223004.jpg)
    demo_data = binary_images[1] # Второе изображение
    demo_results = segmentation_results[1] # Результаты для второго изображения

    print(f"Анализ изображения: {demo_data['name']}")

    # Проблема: сильная фрагментация
    print("\nПРОБЛЕМА: СИЛЬНАЯ ФРАГМЕНТАЦИЯ")
    print("Исходная бинарная маска даёт много мелких фрагментов")

    # Решение: морфологическое закрытие
    kernel = np.ones((5,5), np.uint8)
    closed_mask = cv2.morphologyEx(demo_data['binary_mask'], cv2.MORPH_CLOSE, kernel)

    # Находим контуры после морфологии
    contours_closed, _ = cv2.findContours(closed_mask, cv2.RETR_EXTERNAL,
    cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    filtered_closed = [cnt for cnt in contours_closed if cv2.contourArea(cnt) > 100]

    # Визуализация сравнения
    fig, axes = plt.subplots(2, 3, figsize=(15, 10))

    # Исходное изображение
    axes[0, 0].imshow(cv2.cvtColor(demo_data['original'], cv2.COLOR_BGR2RGB))
    axes[0, 0].set_title('Оригинальное изображение\n(архитектура, текстуры)')
    axes[0, 0].axis('off')

    # Исходная бинарная маска
    axes[0, 1].imshow(demo_data['binary_mask'], cmap='gray')
    axes[0, 1].set_title(f'Исходная маска (Canny)\nКонтуров: {len(demo_results["objects"])}')
    axes[0, 1].axis('off')

    # После морфологии

```

```

axes[0, 2].imshow(closed_mask, cmap='gray')
axes[0, 2].set_title(f'После морф. закрытия\nКонтуров: {len(contours_closed)} →
{len(filtered_closed)}')
axes[0, 2].axis('off')

# Пример хорошего объекта – ищем объект с лучшими характеристиками
if demo_results['objects']:
    # Ищем объект с максимальной площадью и разумной компактностью
    good_candidates = [obj for obj in demo_results['objects'] if obj['area'] > 1000 and
obj['compactness'] > 0.02]
    if good_candidates:
        good_obj = max(good_candidates, key=lambda x: x['area']) # Самый крупный
    else:
        # Если нет подходящих, берем просто самый крупный
        good_obj = max(demo_results['objects'], key=lambda x: x['area'])

    result_img = demo_data['original'].copy()
    cv2.drawContours(result_img, [good_obj['contour']], -1, (0, 255, 0), 3)
    x, y, w, h = good_obj['bbox']
    cv2.rectangle(result_img, (x, y), (x + w, y + h), (255, 0, 0), 2)

    # Подписываем метрики
    cv2.putText(result_img, f'Area: {good_obj["area"]:.0f}', (x, y + h + 20),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 255), 1)
    cv2.putText(result_img, f'Compact: {good_obj["compactness"]:.3f}', (x, y + h + 40),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 255), 1)

    axes[1, 0].imshow(cv2.cvtColor(result_img, cv2.COLOR_BGR2RGB))
    axes[1, 0].set_title('ХОРОШО: Крупный архитектурный элемент')
    axes[1, 0].axis('off')
    print(f"ХОРОШИЙ объект: площадь={good_obj['area']:.0f},\nкомпактность={good_obj['compactness']:.3f}")

# Пример ПЛОХОГО объекта – ищем действительно проблемные случаи
if demo_results['objects']:
    # Ищем объекты с очень низкой компактностью ИЛИ очень маленькой площадью
    bad_candidates = [obj for obj in demo_results['objects']
if obj['compactness'] < 0.005 or obj['area'] < 150]

    if bad_candidates:
        # Берем самый проблемный по компактности
        bad_obj = min(bad_candidates, key=lambda x: x['compactness'])
        problem_type = "НИЗКАЯ КОМПАКТНОСТЬ" if bad_obj['compactness'] < 0.005 else "МАЛАЯ
ПЛОЩАДЬ"
    else:
        # Если нет явно плохих, берем объект с наихудшей комбинацией характеристик
        bad_obj = min(demo_results['objects'],
key=lambda x: x['compactness'] * 1000 + x['area']) # Взвешенная оценка

    result_img = demo_data['original'].copy()
    cv2.drawContours(result_img, [bad_obj['contour']], -1, (0, 0, 255), 2)
    x, y, w, h = bad_obj['bbox']
    cv2.rectangle(result_img, (x, y), (x + w, y + h), (255, 0, 0), 1)

    # Подписываем проблемные метрики красным
    cv2.putText(result_img, f'Area: {bad_obj["area"]:.0f}', (x, y + h + 20),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0, 0, 255), 1)
    cv2.putText(result_img, f'Compact: {bad_obj["compactness"]:.4f}', (x, y + h + 40),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0, 0, 255), 1)

    axes[1, 1].imshow(cv2.cvtColor(result_img, cv2.COLOR_BGR2RGB))
    axes[1, 1].set_title(f'ПЛОХО: {problem_type}\nФрагмент текстуры/шума')
    axes[1, 1].axis('off')
    print(f"ПЛОХОЙ объект: площадь={bad_obj['area']:.0f},\nкомпактность={bad_obj['compactness']:.4f}")
    print(f"Проблема: {problem_type}")

# Анализ и рекомендации
stats_text = "ДИАГНОСТИКА ПРОБЛЕМ:\n\n"
stats_text += "Основные проблемы сегментации:\n"
stats_text += "• Детектор границ Canny выделяет:\n"
stats_text += "  - Текстуры поверхностей\n"
stats_text += "  - Границы теней\n"
stats_text += "  - Цифровой шум\n"
stats_text += "  - Мелкие детали\n\n"
stats_text += "Результат:\n"
stats_text += "• Сильная фрагментация\n"
stats_text += "• Много ложных объектов\n"

```

```

stats_text += "• Низкая семантическая ценность\n"

axes[1, 2].text(0.1, 0.9, stats_text, transform=axes[1, 2].transAxes,
                fontsize=9, verticalalignment='top')
axes[1, 2].set_title('Анализ проблем сегментации')
axes[1, 2].axis('off')

plt.suptitle(f'Анализ сегментации: {demo_data["name"]}\nПеревозчика', fontsize=16, y=0.98)
plt.tight_layout()
plt.show()

# Детальный анализ характеристик объектов
print("\nДЕТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ:")
if demo_results['objects']:
    areas = [obj['area'] for obj in demo_results['objects']]
    compactness = [obj['compactness'] for obj in demo_results['objects']]

    print("\nРаспределение объектов по площади:")
    print(f" Очень мелкие (<150): {sum(1 for a in areas if a < 150)}")
    print(f" Мелкие (150-500): {sum(1 for a in areas if 150 <= a < 500)}")
    print(f" Средние (500-2000): {sum(1 for a in areas if 500 <= a < 2000)}")
    print(f" Крупные (>=2000): {sum(1 for a in areas if a >= 2000)}")

    print("\nРаспределение по компактности:")
    print(f" Очень низкая (<0.005): {sum(1 for c in compactness if c < 0.005)}")
    print(f" Низкая (0.005-0.02): {sum(1 for c in compactness if 0.005 <= c < 0.02)}")
    print(f" Умеренная (0.02-0.1): {sum(1 for c in compactness if 0.02 <= c < 0.1)}")
    print(f" Высокая (>=0.1): {sum(1 for c in compactness if c >= 0.1)}")

# Запускаем демонстрацию с другим изображением
demonstrate_improvements()

```

Выводы о проделанной работе:

На основании проведенного исследования сегментации изображений и выделения границ с использованием библиотеки OpenCV можно сформулировать следующие выводы:

1. Сегментация на основе границ эффективна для изображений с четкими контурами, но недостаточна для сложных текстурных сцен
2. Оператор Кэнни демонстрирует наилучшие результаты при детекции границ благодаря многоэтапной обработке и подавлению шума
3. Морфологические метрики (площадь, периметр, компактность) обеспечивают объективную количественную оценку качества сегментации
4. Адаптивная предобработка (CLAHE) существенно улучшает результаты за счет выравнивания локального контраста
5. Комбинированный подход, использующий несколько методов обработки, позволяет достигать наиболее точных и устойчивых результатов

Работа подтвердила практическую ценность классических алгоритмов компьютерного зрения, но также выявила их ограничения: edge-based подход на основе Canny приводит к сильной фрагментации сложных сцен, а ORB имеет жесткое ограничение по количеству ключевых точек. Для семантически значимой сегментации необходим переход к регионарным методам в сочетании с морфологической постобработкой.