

СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ МЕДИАДААННЫХ

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ (ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЯРКОСТИ)

д.т.н., доцент Вашкевич М. И.

vashkevich@bsuir.by



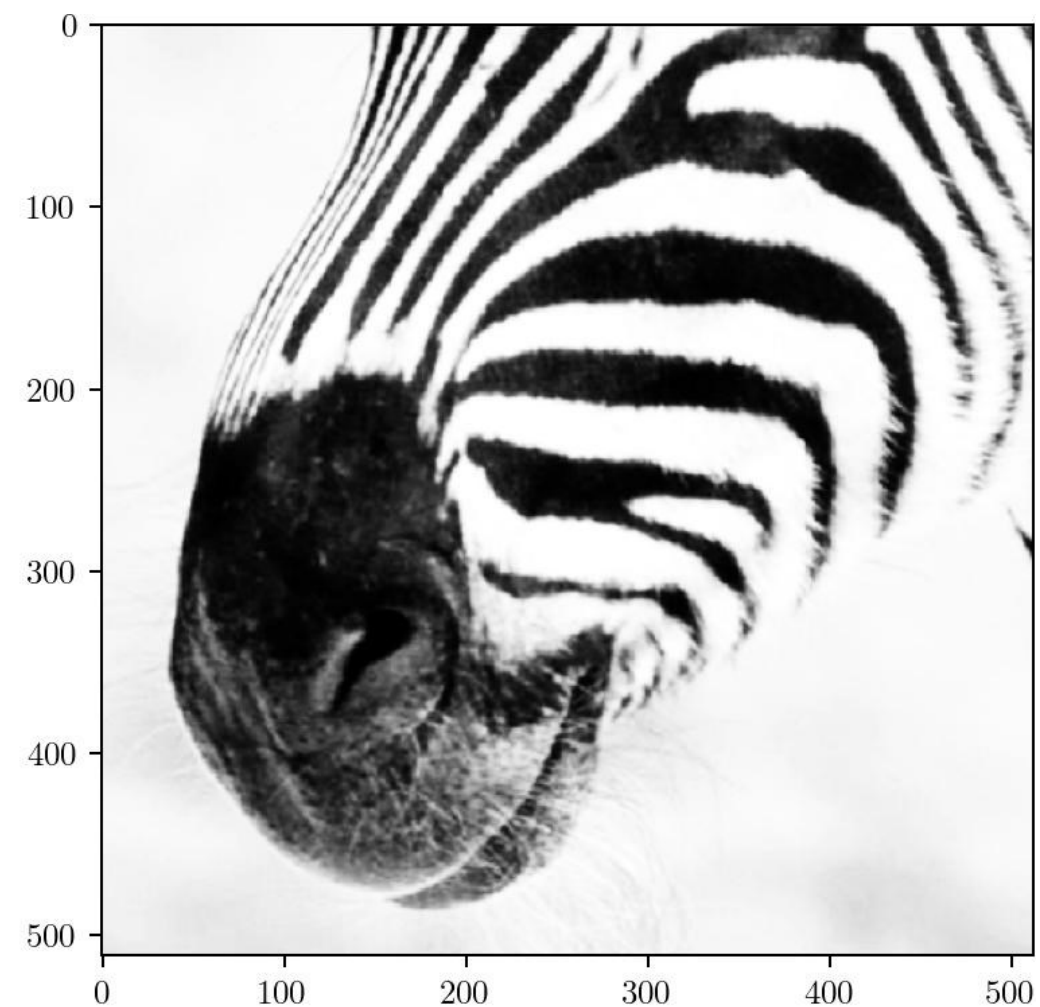
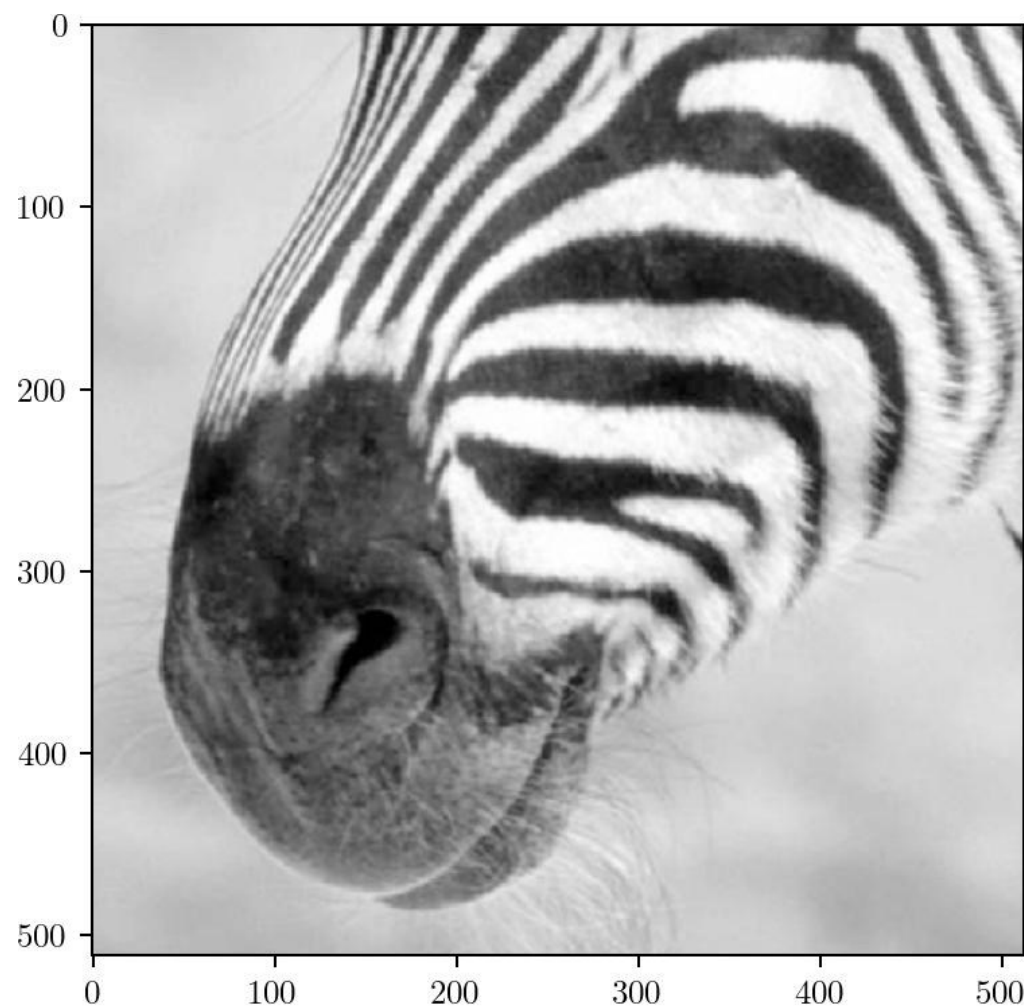
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Кафедра электронных вычислительных средств

Улучшение качества изображения (image enhancement)

Методы улучшения изображений основаны на обработке в:

- 1) **Пространственной области** (на уровне пикселей)
- 2) **Частотной области** (применение 2D Дискретного Преобразования Фурье)

Пример улучшения качества изображения



Динамический диапазон изображения

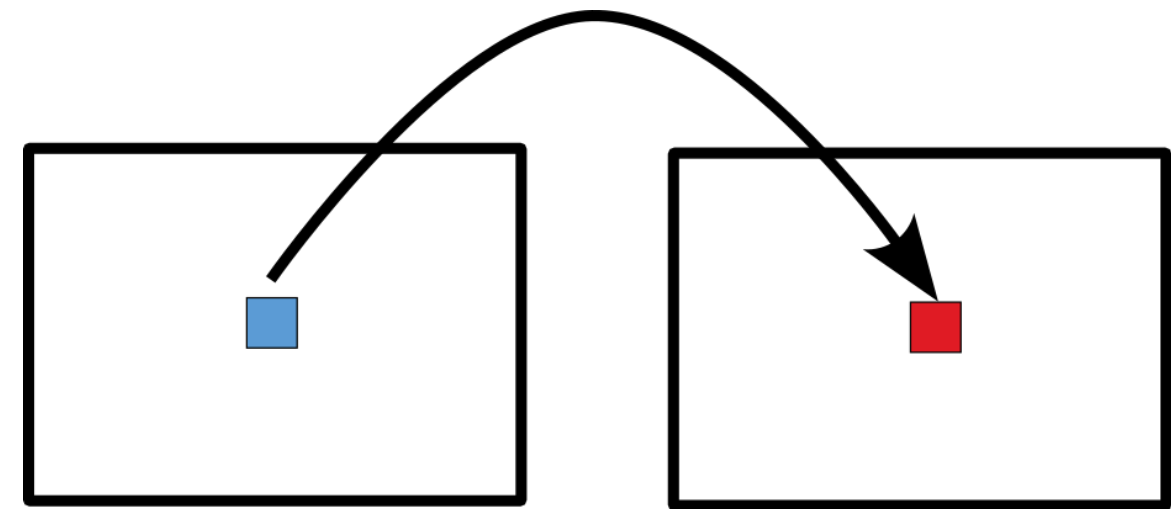
Динамический диапазон изображения определяется как разница между наименьшим и наибольшим значениями пикселей в изображении. Мы можем определять преобразования, которое позволит более эффективно использовать динамический диапазон. Эти преобразования применяются для улучшения контрастности/яркости изображения.

В общем случае мы будем предполагать 8-битный (от 0 до 255) диапазон градации серого как для входных, так и для выходных изображений, но рассматриваемые методы могут быть обобщены на другие входные диапазоны и отдельные каналы из цветных изображений.

Типы операций по улучшению качества изображений

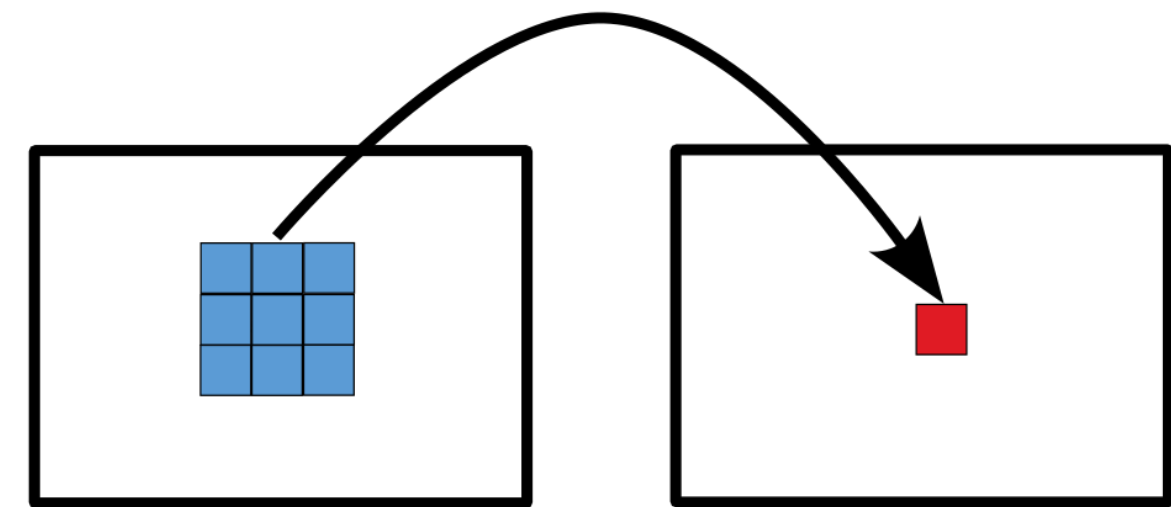
Точечные операции

Выходное значение в точке (x, y) зависит только от входного значения в точке (x, y) .



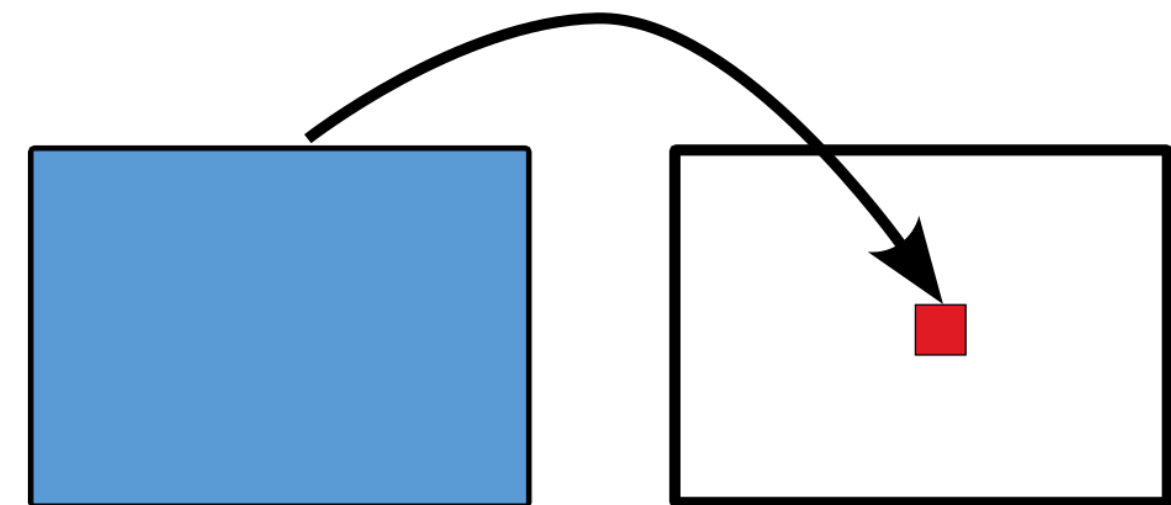
Окрестностная обработка

Выходное значение в точке (x, y) зависит от входных значений в окрестности точки (x, y) .



Глобальные операции

Выходное значение в точке (x, y) зависит от всех значений во входном изображении.



Общая схема обработки

Большинство операторов улучшения изображения можно обобщить выражением:

$$g(x, y) = T\{f(x, y)\},$$

где

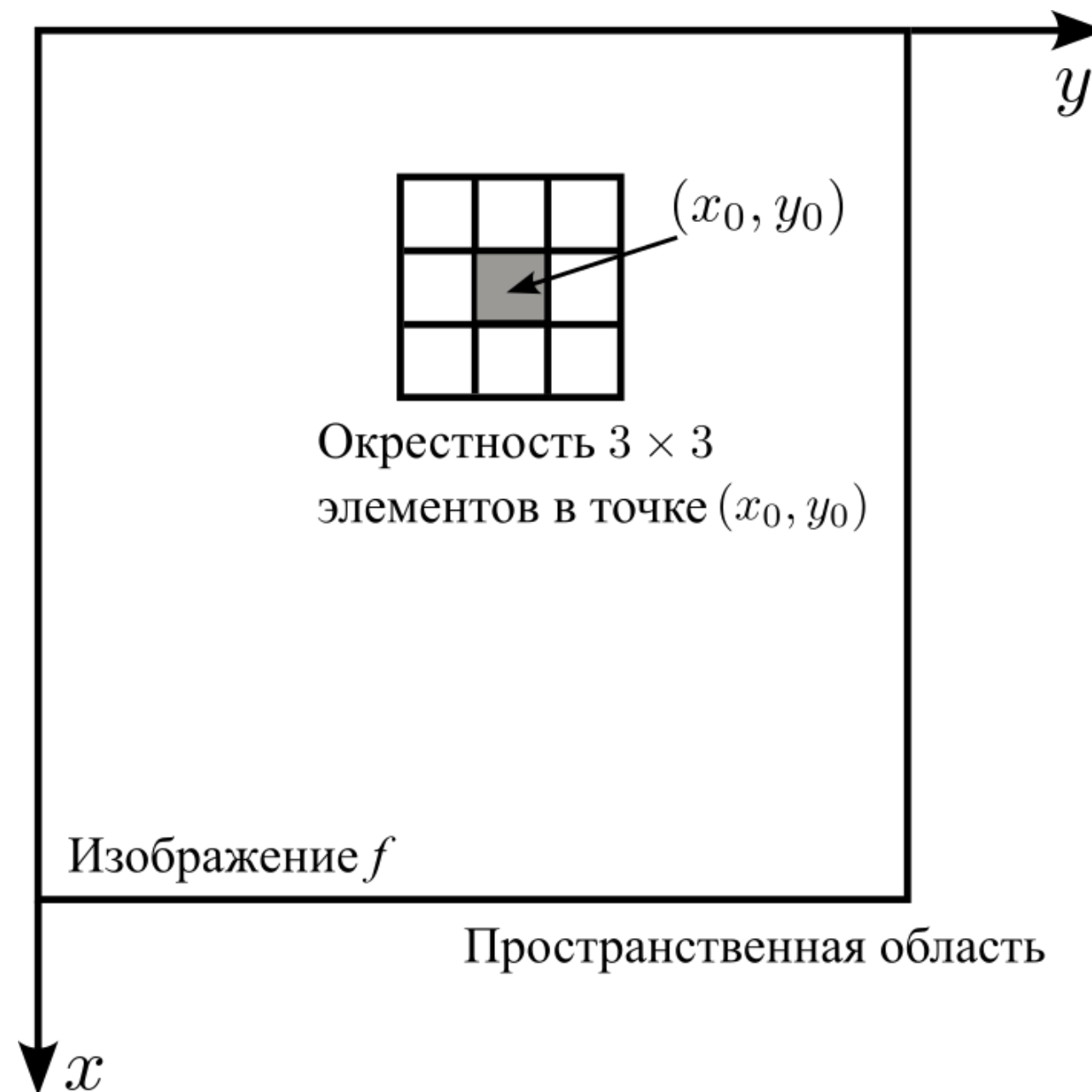
$f(x, y)$ – исходное изображение

$g(x, y)$ – обработанное/выходное изображение

$T\{\cdot\}$ – оператор, определенный над некоторой окрестностью точки (x, y) .

Общая схема обработки

Окрестность – область прямоугольной формы, центр которой находится в точке (x, y) .



Гистограмма изображения

Гистограмма изображения – это функция, показывающая какое число раз на изображении появлялось каждое из допустимых значений пикселей, т.е. это функция вида

$$H(k) = n_k,$$

где $k \in [V_{min}, V_{max}]$ – это значение интенсивности из допустимого диапазона, а n_k – число раз, которое это значение встречается на изображении.

- ✓ Гистограмма изображения – важное средство, которое используется для понимания, анализа и проектирования точечных операций над изображениями.

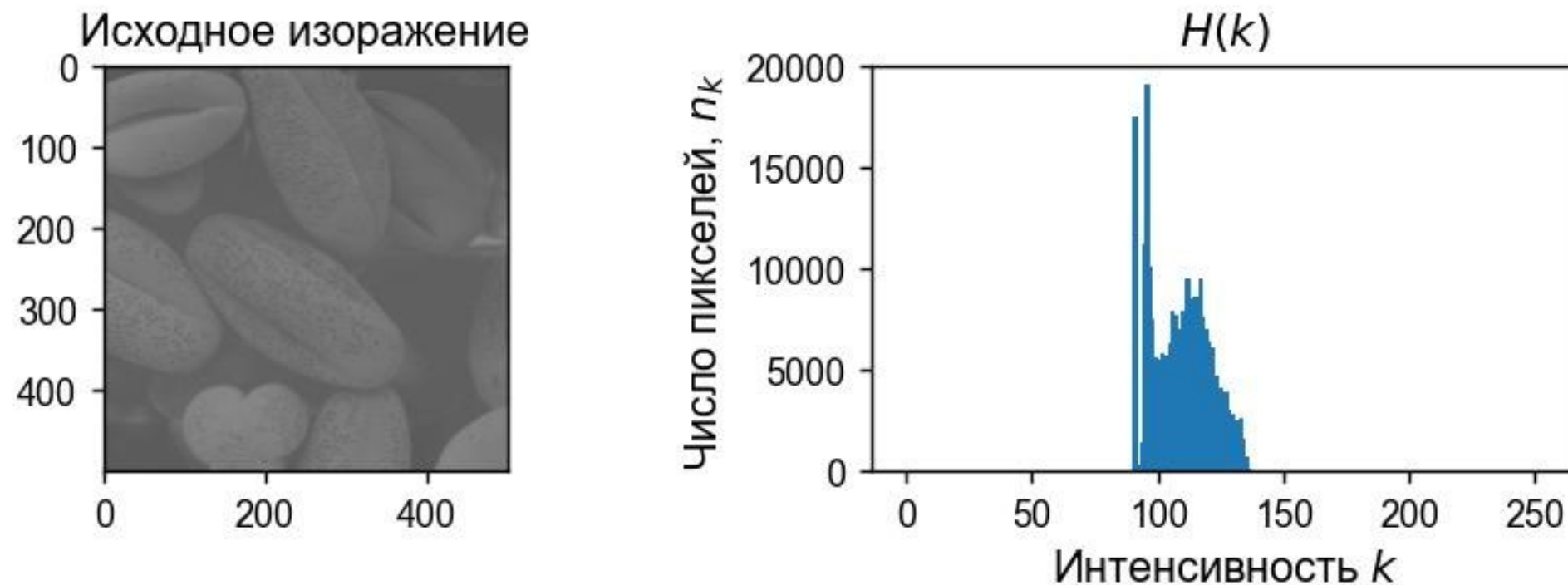
Гистограмма изображения

Гистограмма изображения – это функция, показывающая какое число раз на изображении появилось каждое из допустимых значений пикселей, т.е. это функция вида

$$H(k) = n_k,$$

где $k \in [V_{min}, V_{max}]$ – это значение интенсивности из допустимого диапазона, а n_k – число раз, которое это значение встречается на изображении.

Пример гистограммы



Гистограмма изображения

Визуальный осмотр гистограммы изображения может выявить основной контраст, присутствующий в изображении, и любые потенциальные различия в распределении цветов компонентов сцены переднего плана и фона.

Пример

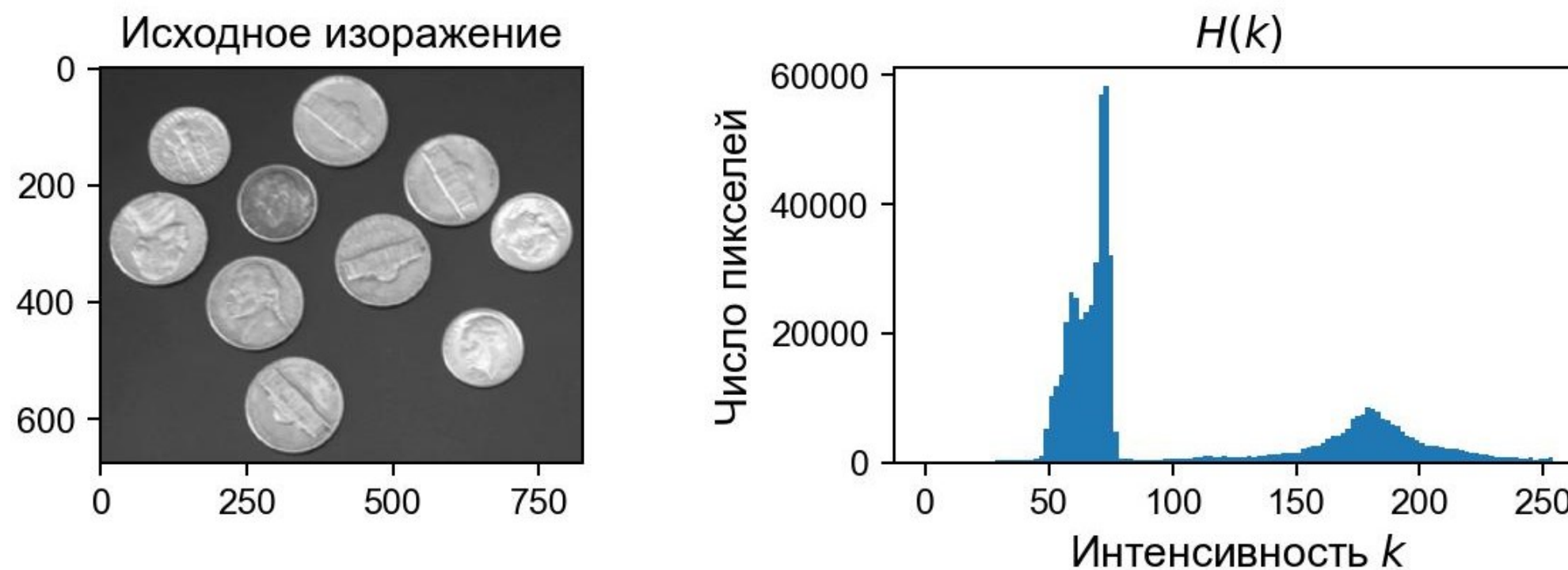
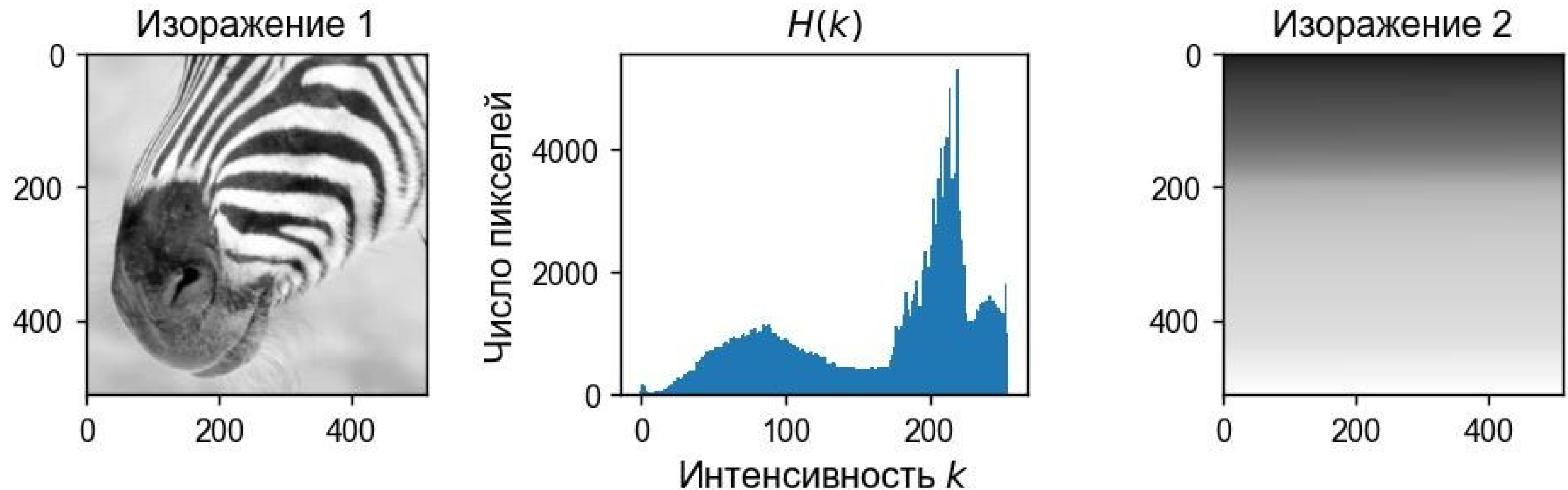


График гистограммы имеет два отличительных пика: высокий пик в нижнем диапазоне значений соответствует распределению яркости фона, а низкий пик в более высоком диапазоне значений соответствует объектам переднего плана (монетам).

Гистограмма изображения

- ✓ Разные изображения могут иметь одну и ту же гистограмму.
- ✓ Невозможно по гистограмме выполнить восстановление изображения.



Изображение 1 и 2 имеют одну и ту же гистограмму.

Как вы думаете, каким образом было получено изображение 2 из изображения 1?

Средняя оптическая плотность

Средняя оптическая плотность (*average optical density – AOD*) это базовая метрика общей яркости изображения.

$$AOD(f) = \frac{1}{NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M} f(n, m).$$

её можно вычислить, используя гистограмму изображения

$$AOD(f) = \frac{1}{NM} \sum_{k=0}^{L-1} k H(k).$$

СОП полезна для оценивания центрального значения распределения яркости изображения.

Средняя оптическая плотность (СОП)

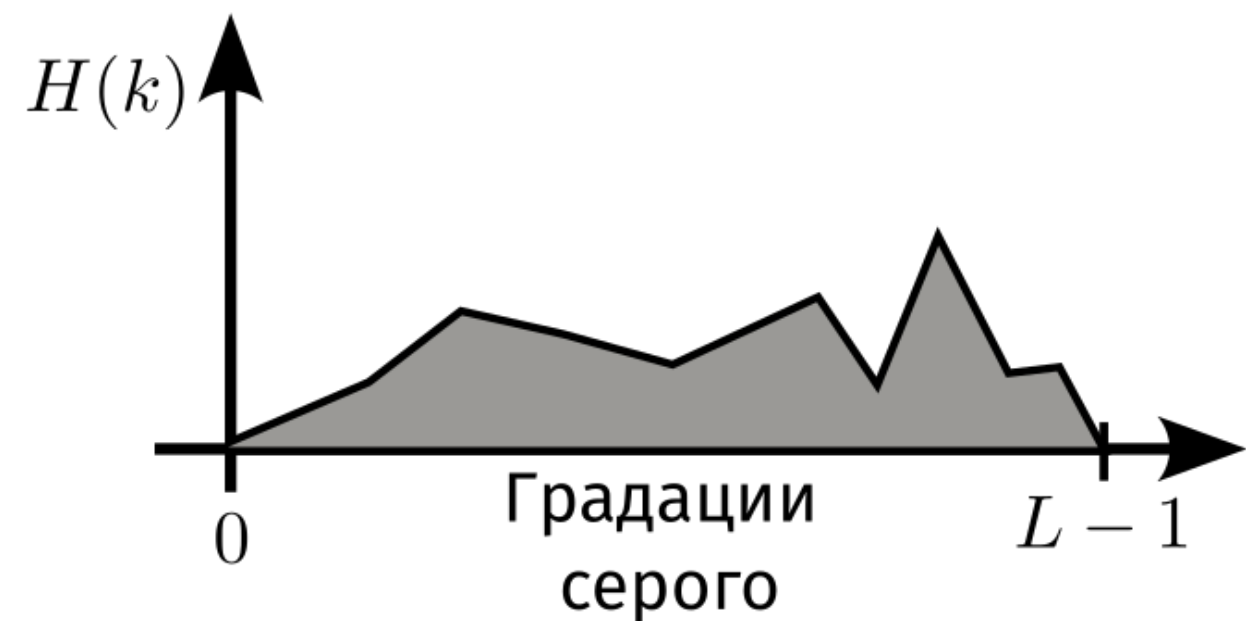


На гистограмме слева распределение пикселей смещено влево, ближе к нулю и, следовательно, будет иметь более низкое значение СОП. Такая гистограмма характерна для более темного изображения.

На гистограмме справа гистограмма имеет перекосяк вправо и, следовательно, будет иметь более высокое значение СОП. Такая гистограмма характерна для более светлого изображения (или, возможно, имеют место «засветы»).

Анализ гистограммы изображения

Часто гистограмма изображения позволяет выявить плохое использование доступного динамического диапазона яркостей.



Изображение с компактной гистограммой (слева) как правило будет иметь плохой визуальный контраст или размытый вид. Если на изображении заполнен весь динамический диапазон (как на гистограмме справа), то оно будет иметь более высокий контраст.

Функция распределения вероятности

Если нормировать гистограмму (т.е. поделить $H(k)$ на число пикселей изображения), то получим **функцию распределения вероятности**:

$$p(k) = \frac{H(k)}{M \times N} = \frac{n_k}{M \times N},$$

где M и N – число строк и столбцов изображения, соответственно.

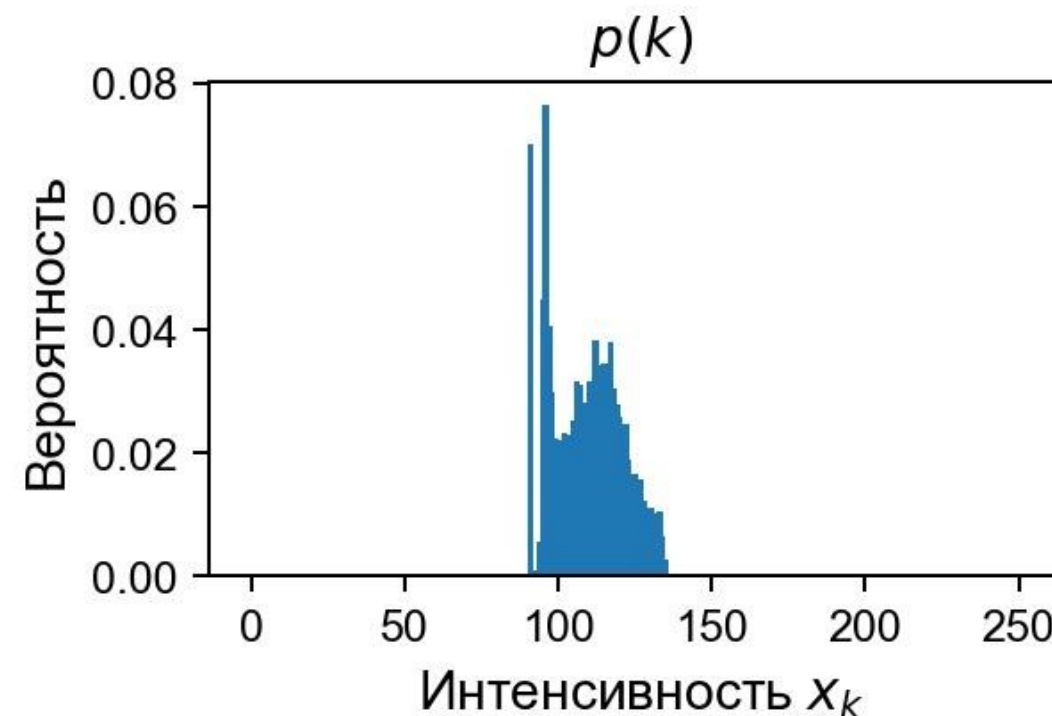
Функция распределения вероятности

Если нормировать гистограмму (т.е. поделить $H(k)$ на число пикселей изображения), то получим **функцию распределения вероятности**:

$$p(k) = \frac{H(k)}{M \times N} = \frac{n_k}{M \times N},$$

где M и N – число строк и столбцов изображения, соответственно.

Пример распределения вероятности



ТОЧЕЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Преобразование яркости

Преобразование яркости относится к точечным операциям, если значение яркости пиксела после преобразования зависит от яркости одной точки (пиксела) исходного изображения и не зависит от ее местоположения.

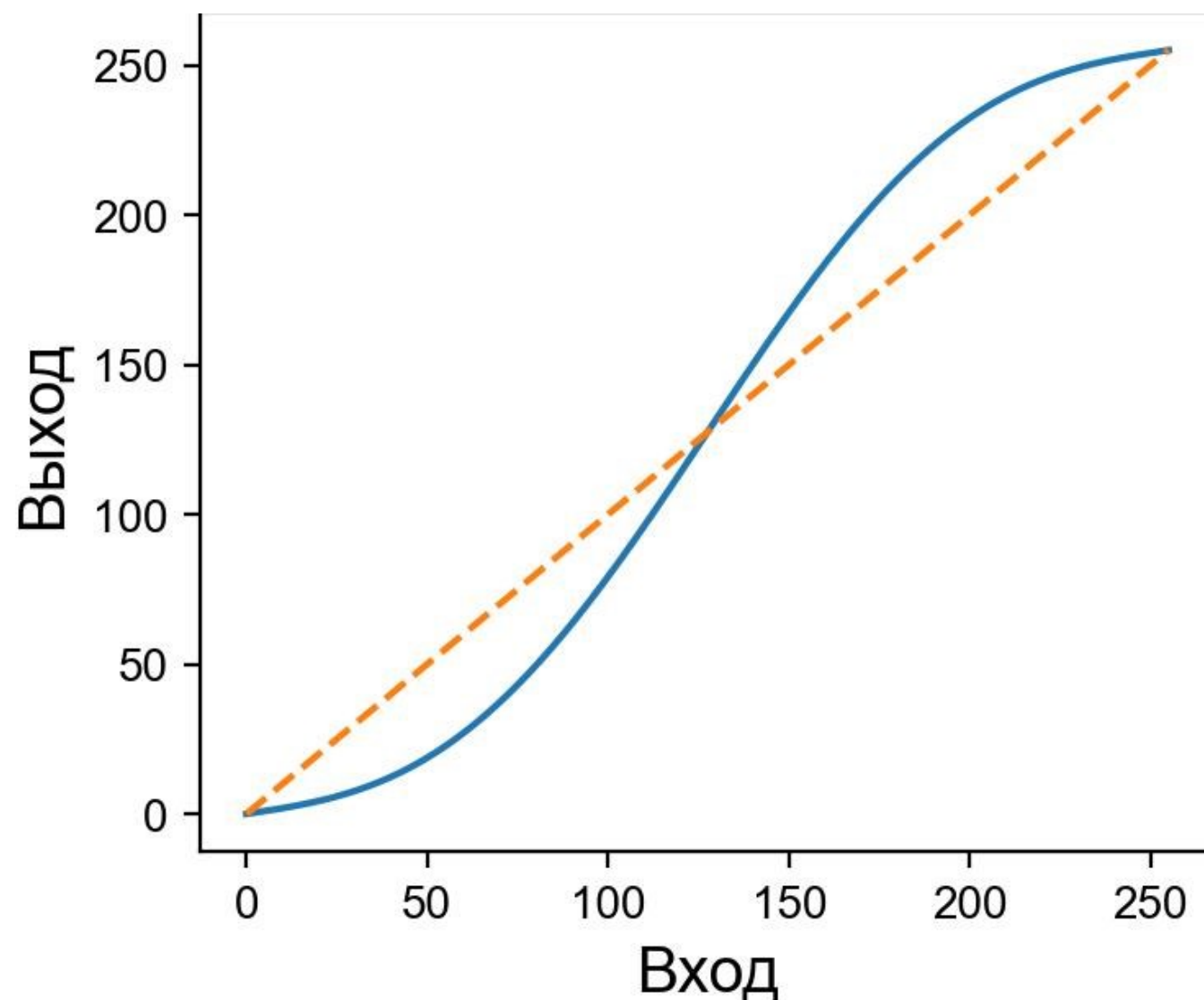
Яркостное преобразование изображения $f(x, y)$ описывается как

$$g(x, y) = T(f(x, y)).$$

Пусть $r = f(x, y)$ это яркость пикселя в точке (x, y) на исходном изображении, а $s = g(x, y)$ – это яркость пикселя в точке (x, y) преобразованного изображения. Поэлементная обработка означает, что изменение яркости можно описать функцией $s = T(r)$ независимо от координат пиксела.

Поточечная обработка с использованием таблиц

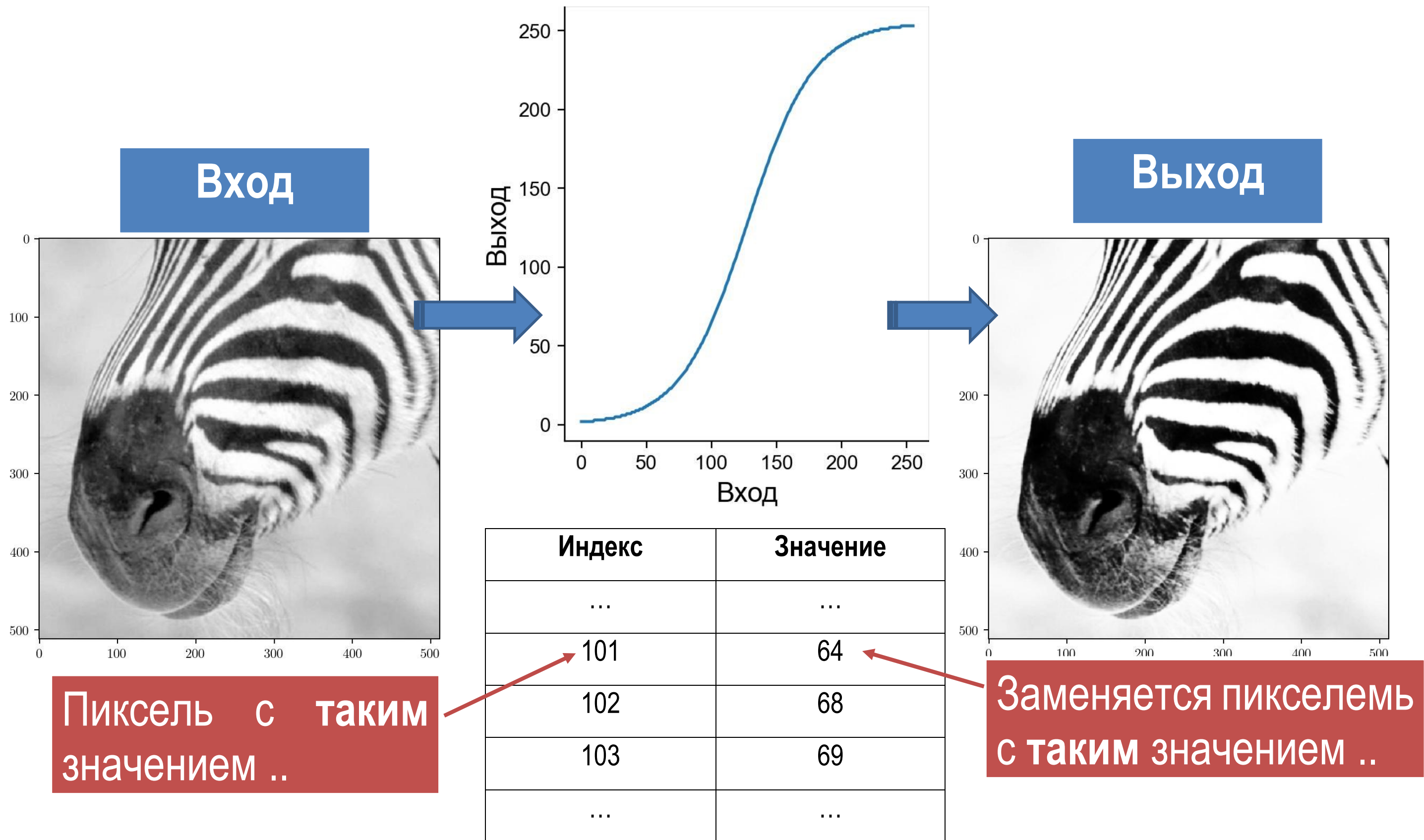
Поточечную (*pointwise*) обработку можно реализовать при помощи просмотрных таблиц (Look-Up Table – LUT), которые реализуют отображение.



LUT-таблица

Индекс	Значение
...	...
101	64
102	68
103	69
104	71
...	...

Потоочечная обработка с использованием таблиц



Точечные операции

$$s = T(r)$$

- ✓ Функция T может задаваться вручную или формироваться автоматически.
- ✓ В точечных операциях функция T не учитывает пространственной информации, поэтому эффект от их применения ограничен. В результате этих операций расположение объектов, их границы на изображении не изменяются.
- ✓ Таким образом, точечная операция, задаваемая функцией $T(\cdot)$ может изменять вид гистограммы изображения и таким образом влиять на его внешний вид.

Линейные точечные операции

- ✓ Самым простым видом точечных операций являются линейные:

$$s = P \cdot r + K$$

- ✓ Данный тип операций добавляет смещение яркости (K) и масштабирование яркости (P).
- ✓ При выполнении обработки изображений следует избегать случаев насыщения, т.е. $|g(x, y)| < 0$ и $|g(x, y)| > L - 1$, поскольку они могут приводиться к ошибкам обработки и отображения результатов.
- ✓ Для предотвращения данных ошибок можно использовать функцию `np.clip()`.

```
x = [-1, 1, 5, 255, 300]
y = np.clip(x, a_min=0, a_max=255)
print(y)
```

```
>> [ 0  1  5 255 255]
```

Аддитивное смещение изображения

$$g(x, y) = f(x, y) + K$$

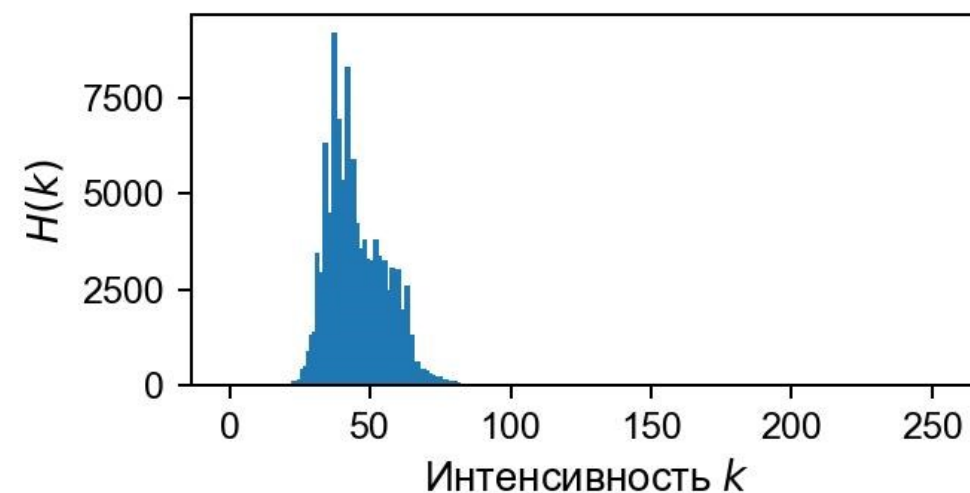
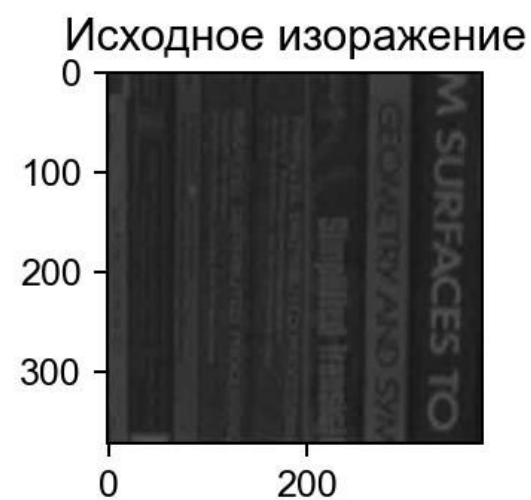
При $K > 0$ произойдет осветление изображения, при $K < 0$ изображение будет затемнено.

Аддитивное смещение изображения

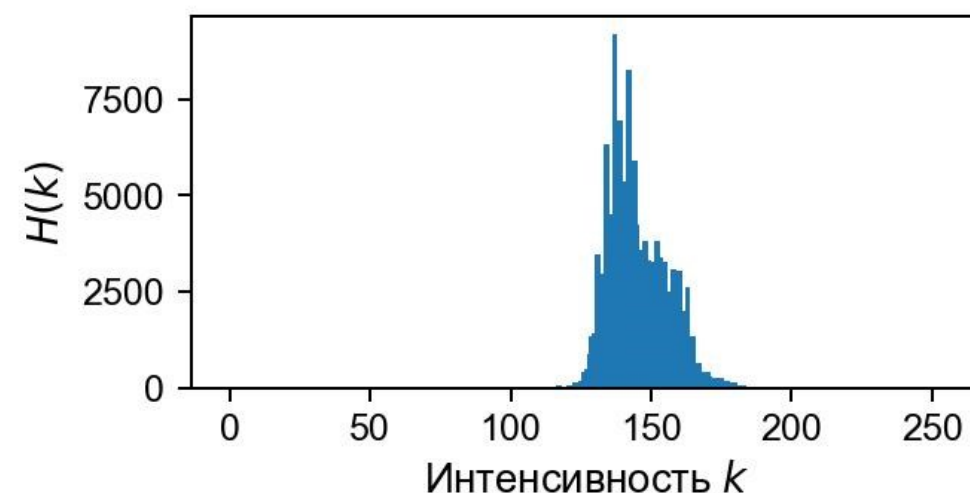
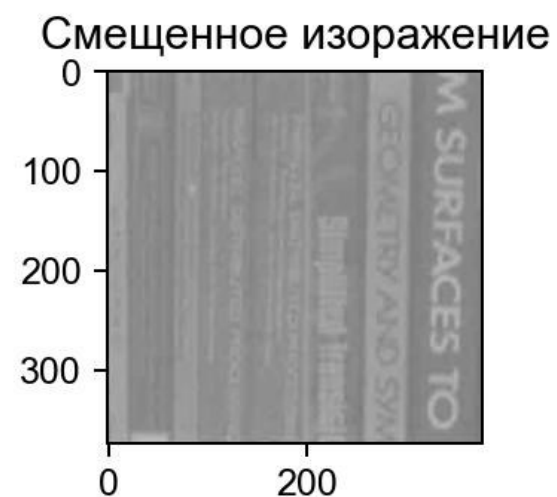
$$g(x, y) = f(x, y) + K$$

При $K > 0$ произойдет осветление изображения, при $K < 0$ изображение будет затемнено.

Пример аддитивного смещения



Изображение осветляется, но повышение контрастности не происходит.



Аддитивное смещение

Аддитивное смещение можно использовать для калибровки изображений таким образом, чтобы они имели необходимый средний уровень яркости.

Пусть имеется несколько изображений f_1, f_2, \dots, f_n одной и той же сцены, но выполненные при различных условиях освещения (и в разное время). Для выравнивания средней оптической плотности (СОП) этих изображений можно выполнить следующую операцию

$$g_i(x, y) = f_i(x, y) - AOD(f_i) + L/2,$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, $AOD(f_i)$ – средняя оптическая плотность изображения f_i , L – число уровней яркости (допускаемый форматом изображения).

В результате обработанные изображения будут иметь СОП равный $L/2$.

Мультипликативное масштабирование

$$g(x, y) = P f(x, y)$$

Коэффициент $P > 0$, но не обязательно должен быть целым.

Мультипликативное масштабирование

$$g(x, y) = Pf(x, y)$$

Коэффициент $P > 0$, но не обязательно должен быть целым.

Часто в результате операции требуется получить целочисленные значения, в этом случае масштабирование выполняется по формуле:

$$g(x, y) = \text{floor}(Pf(x, y) + 0,5),$$

где $\text{floor}(x)$ – означает ближайшее целое число меньше x .

Мультипликативное масштабирование

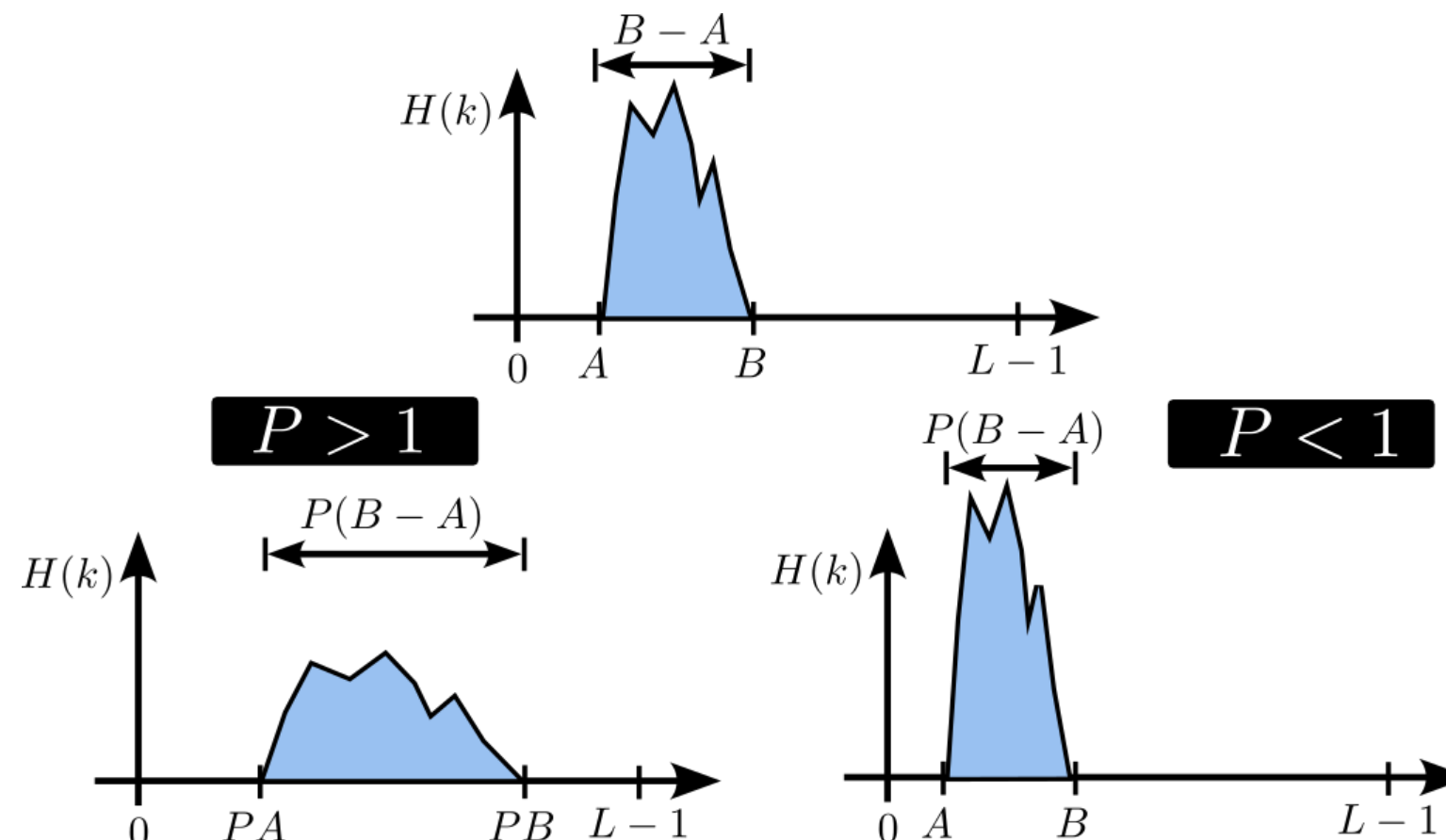
$$g(x, y) = Pf(x, y)$$

Коэффициент $P > 0$, но не обязательно должен быть целым.

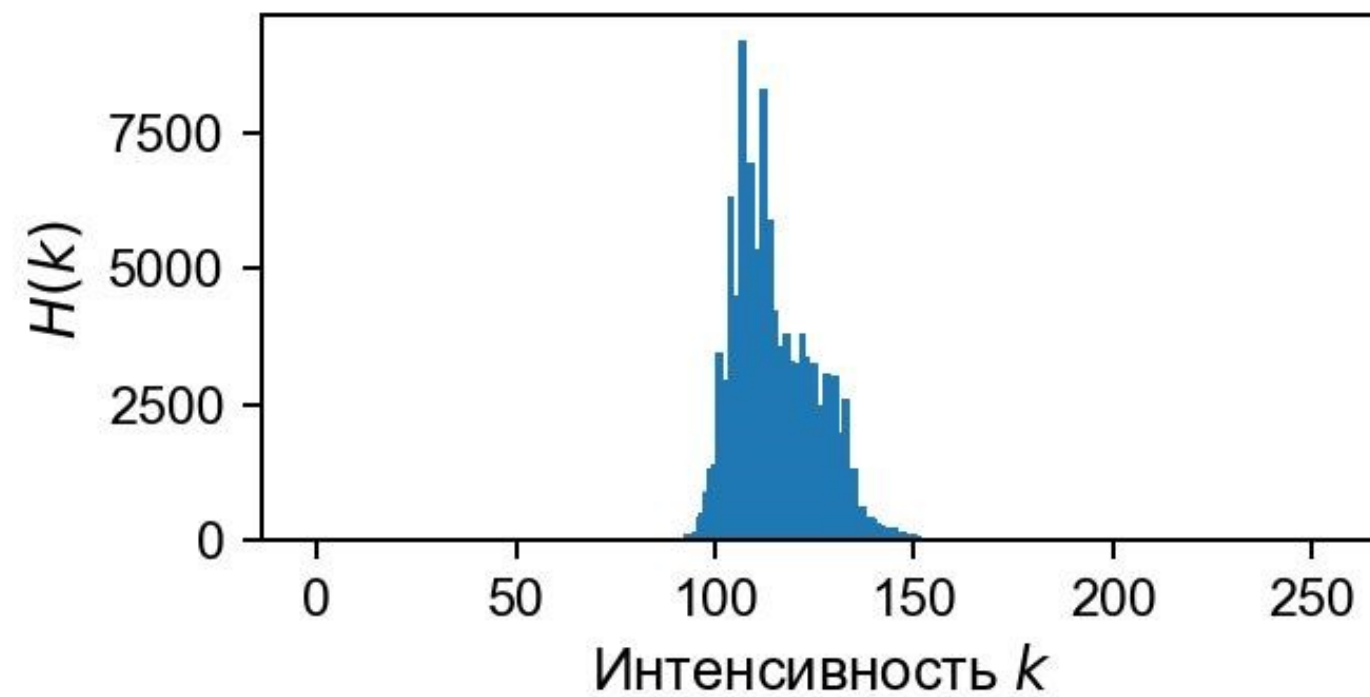
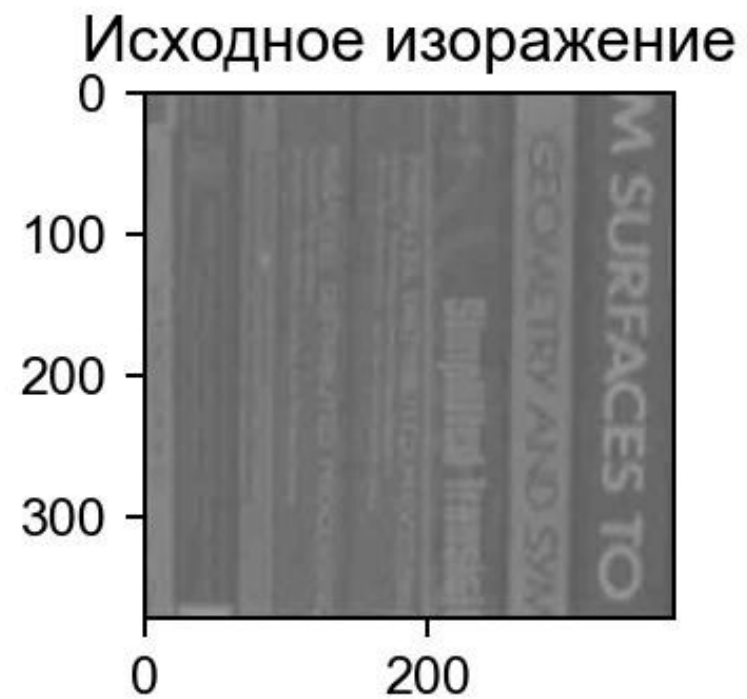
Часто в результате операции требуется получить целочисленные значения, в этом случае масштабирование выполняется по формуле:

$$g(x, y) = \text{floor}(Pf(x, y) + 0,5),$$

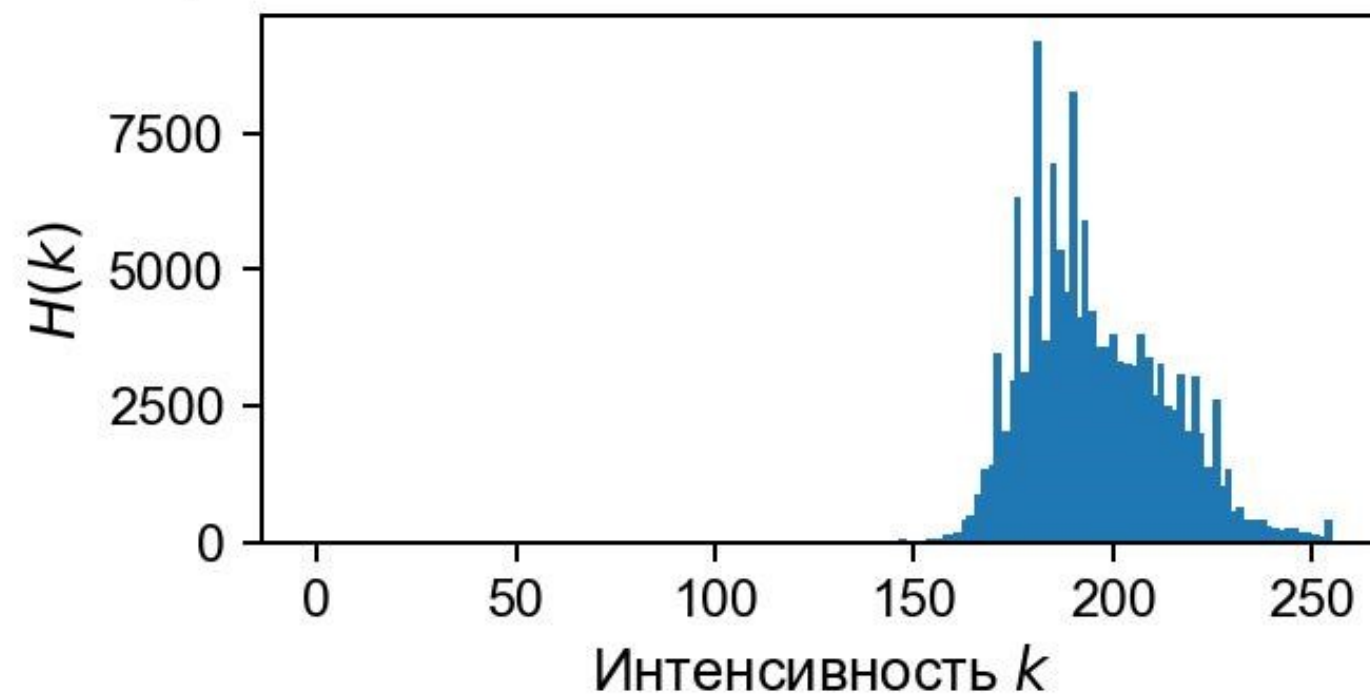
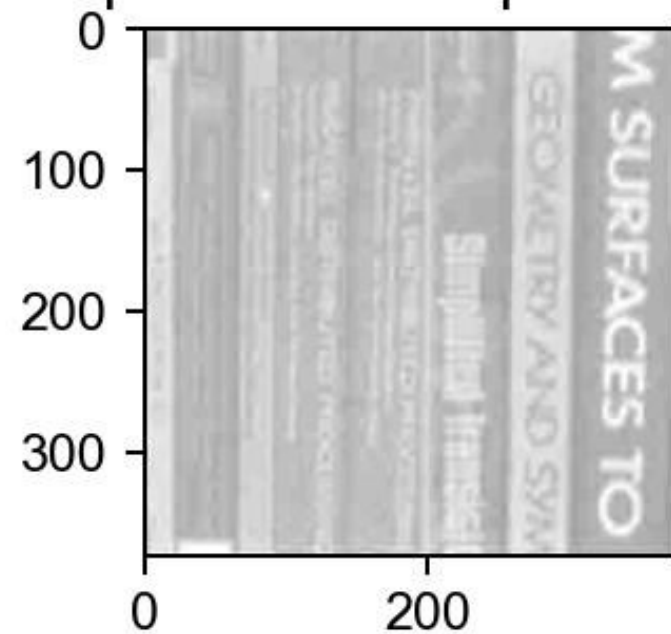
где $\text{floor}(x)$ – означает ближайшее целое число меньше x .



Мультипликативное масштабирование: пример



Масштабированное изображение ($P = 1.7$)



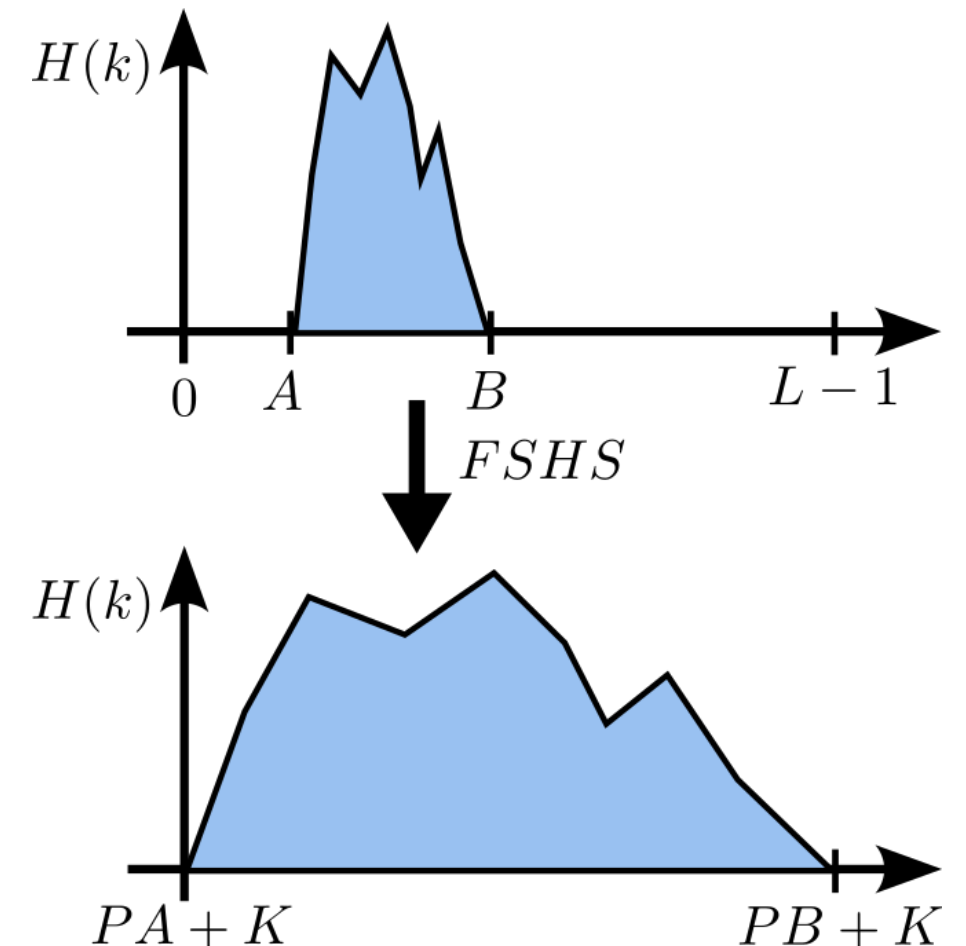
Полномасштабное растяжение гистограммы

- ✓ *Full-scale histogram stretch (FSHS)* –линейная точечная операция, которая растягивает гистограмму на весь допустимый диапазон значений.
- ✓ Цифровые фотоаппараты и камеры используют FSHS перед сохранением изображением в память, эта операция называется автоматическим контролем усиления (*AGC – automatic gain control*).

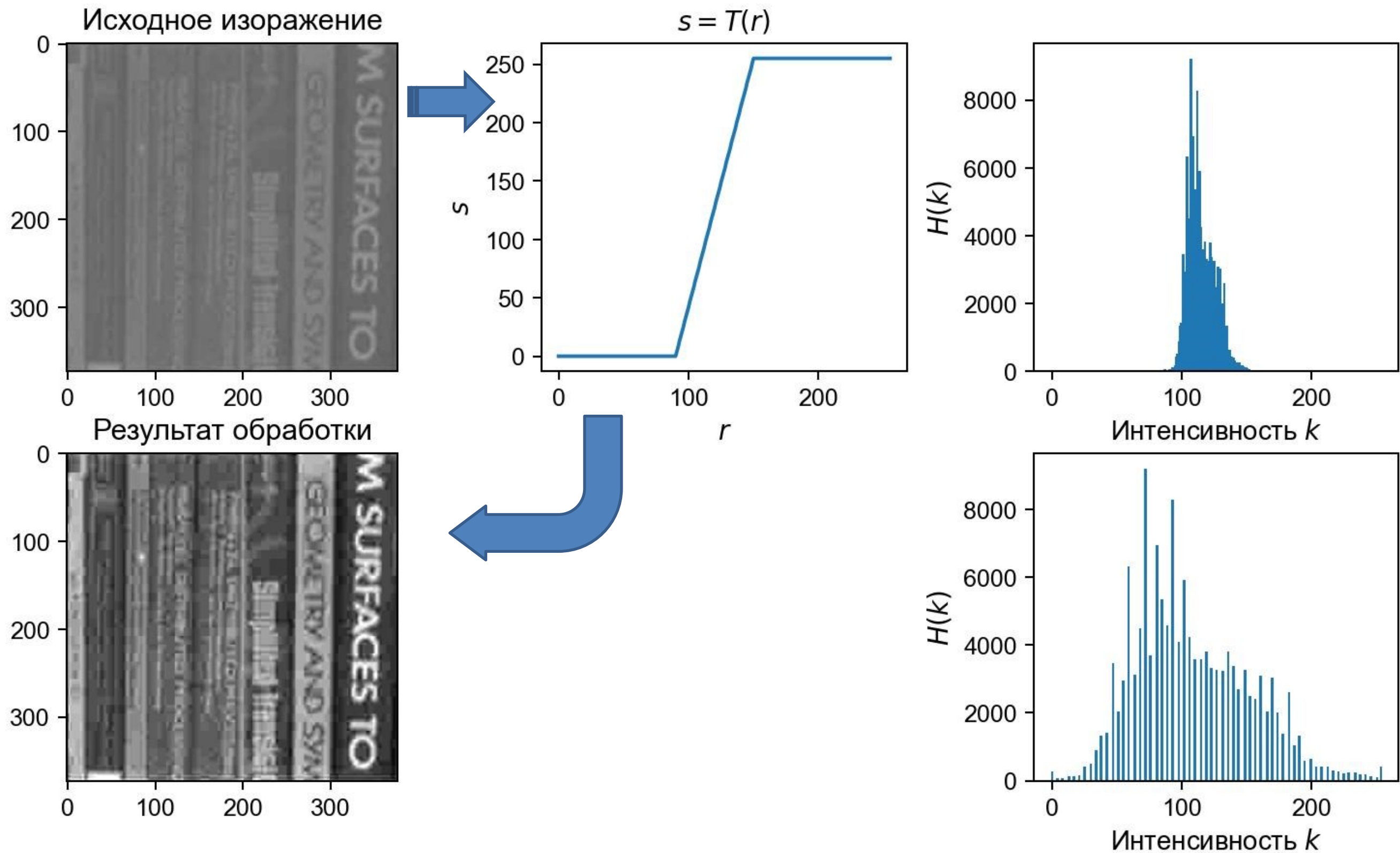
Пусть $A = \min(f(x, y))$, а $B = \max(f(x, y))$.

$$\begin{cases} PA + K = 0 \\ PB + K = L - 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P = \left(\frac{L - 1}{B - A} \right) \\ K = -A \left(\frac{L - 1}{B - A} \right) \end{cases}$$

$$s = \left(\frac{L-1}{B-A} \right) \cdot (r - A)$$



Полномасштабное растяжение гистограммы



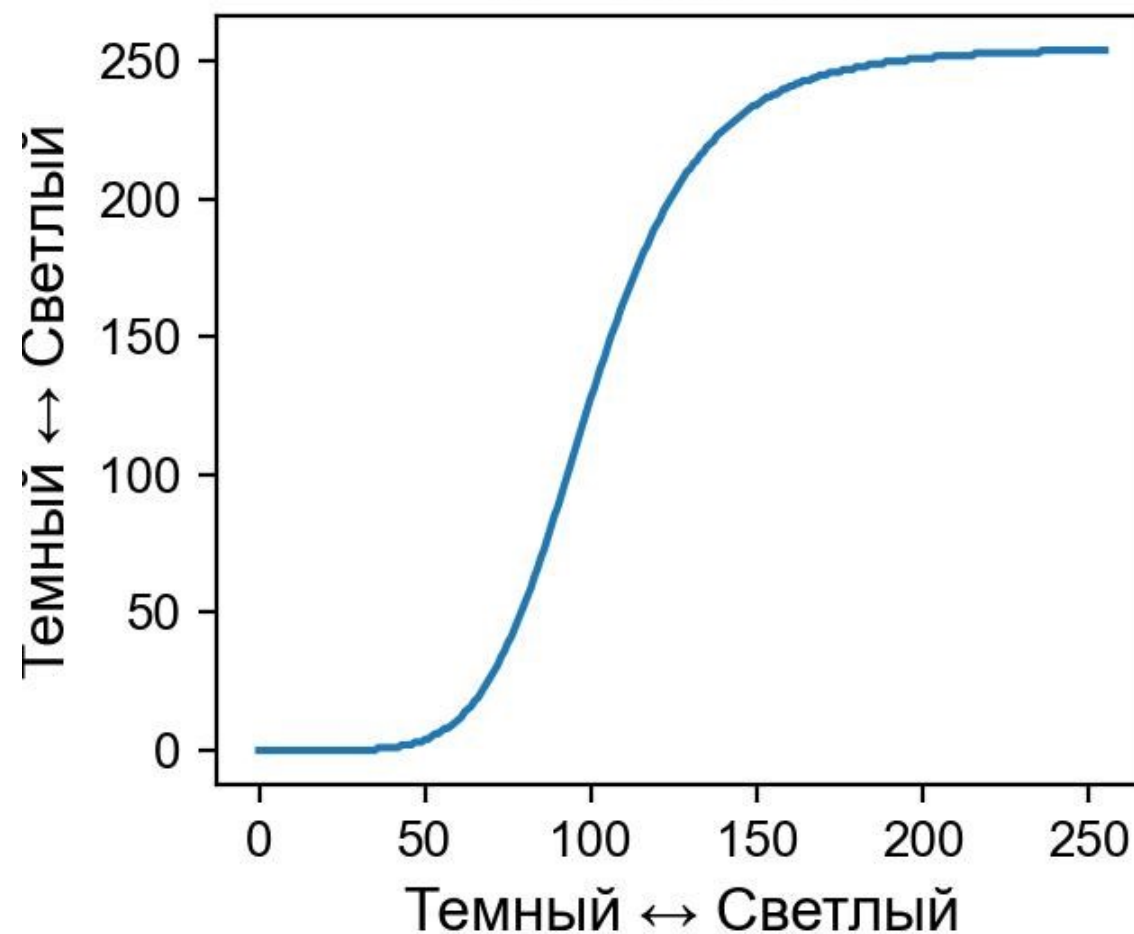
Нелинейные точечные операции

FSHS – не работает для изображений, которые изначально имеют интенсивность во всем доступном диапазоне.

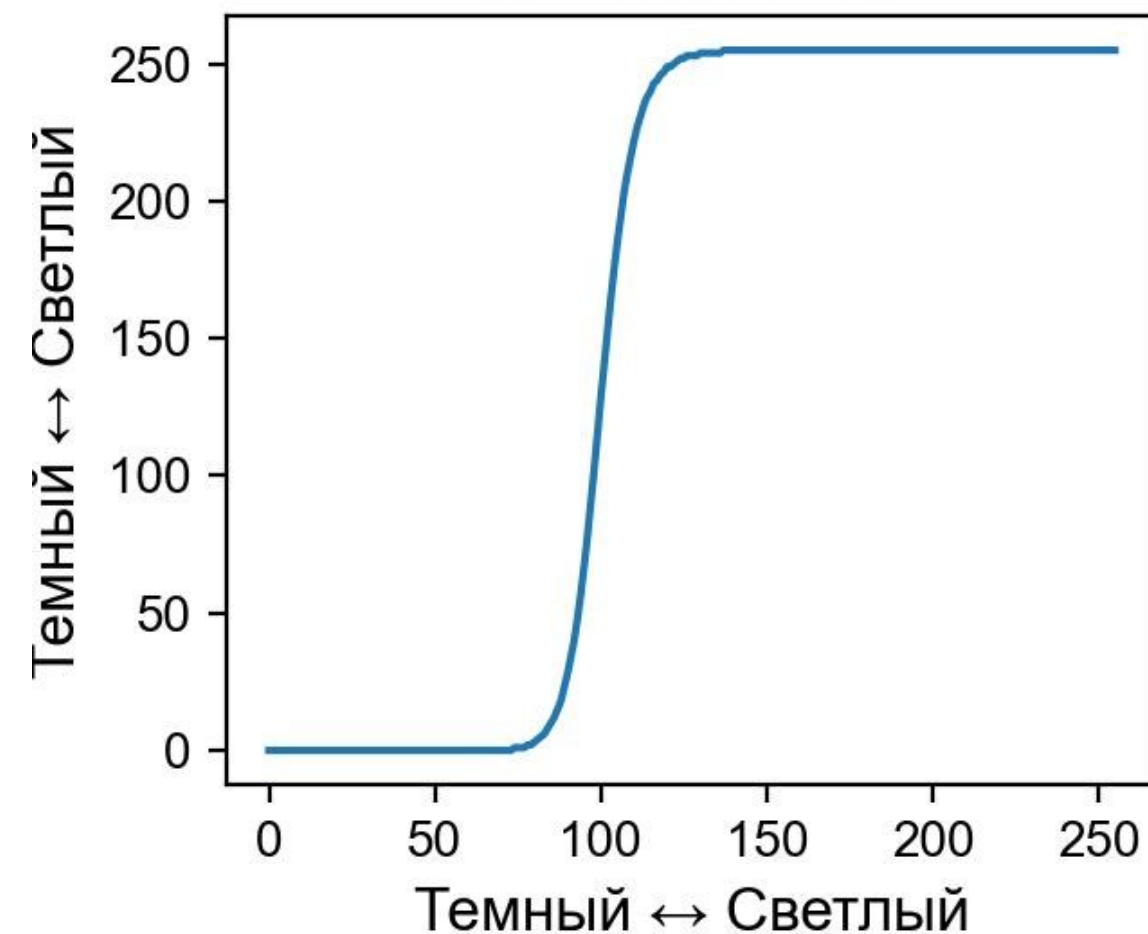
В этом случае используют функцию **растяжения контрастности**

$$s = T(r) = \frac{1}{1 - \left(\frac{m}{r}\right)^E}$$

$m = 100, E = 6$

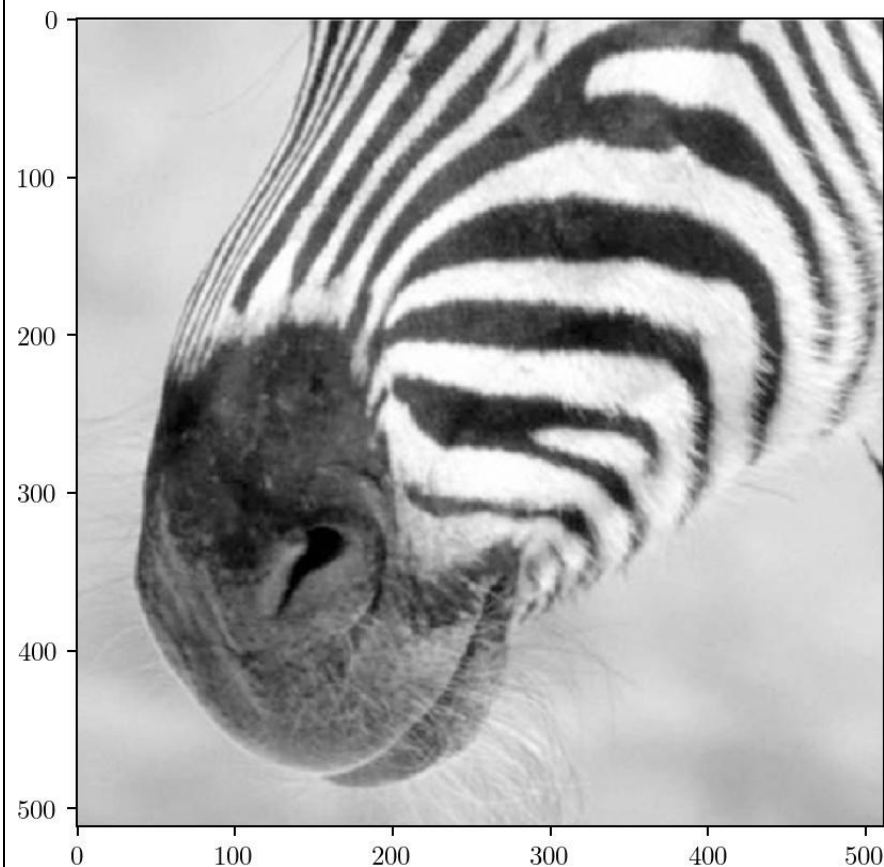


$m = 100, E = 20$

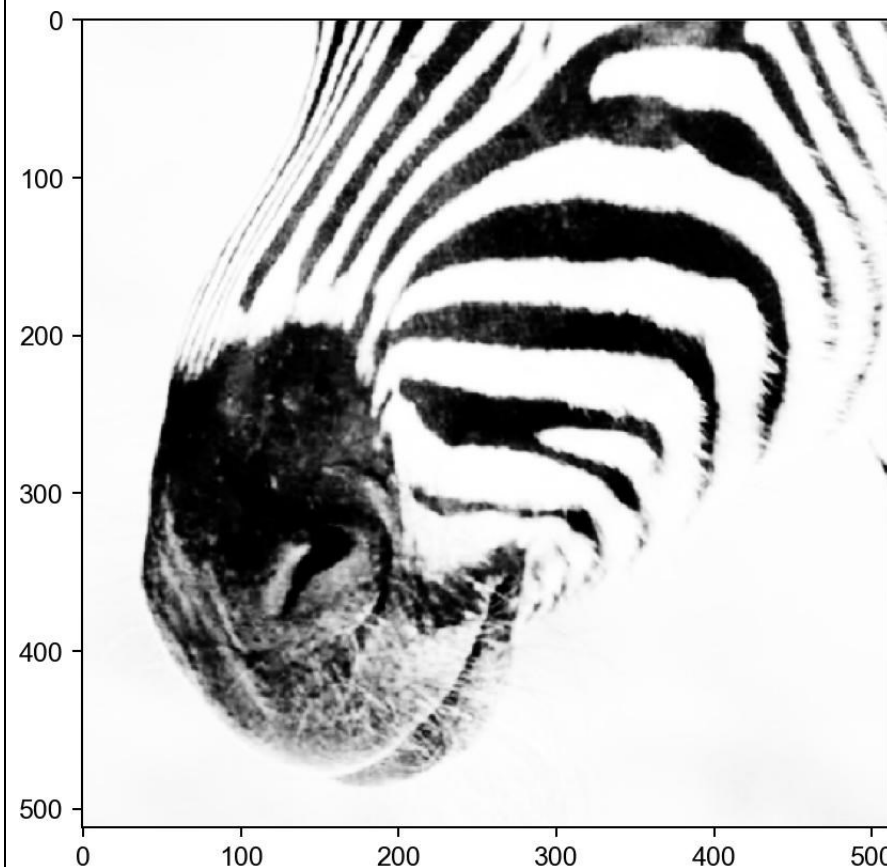


Растяжение контрастности: примеры

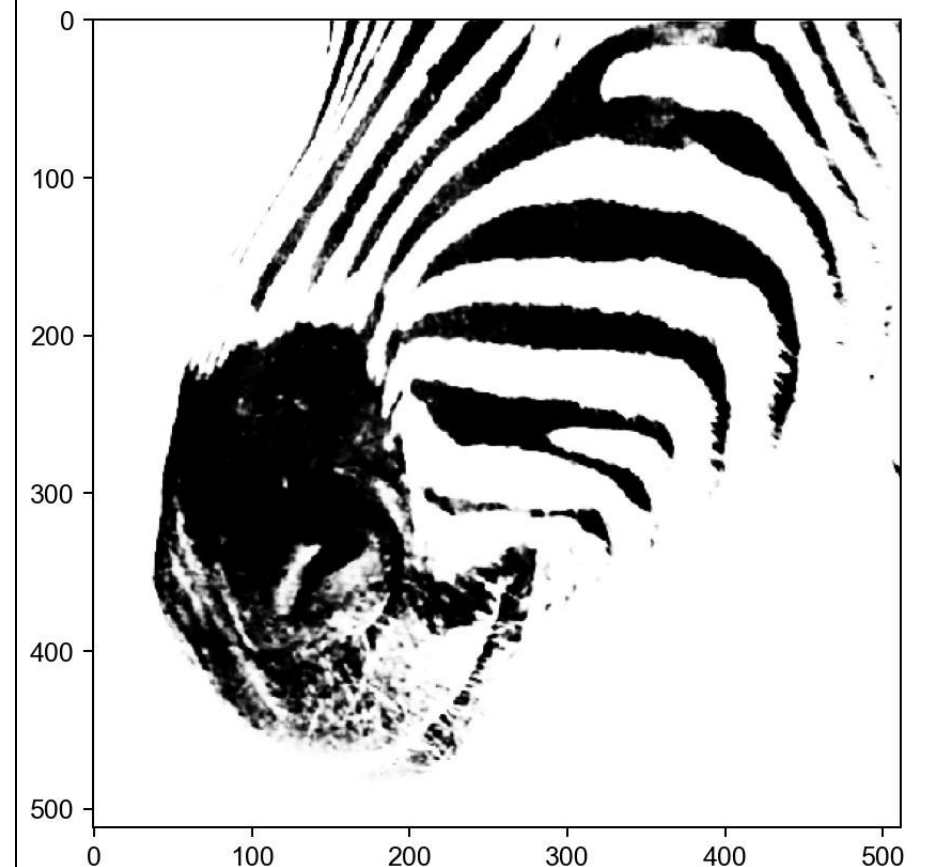
Оригинал



РК: $m=100$, $E = 6$



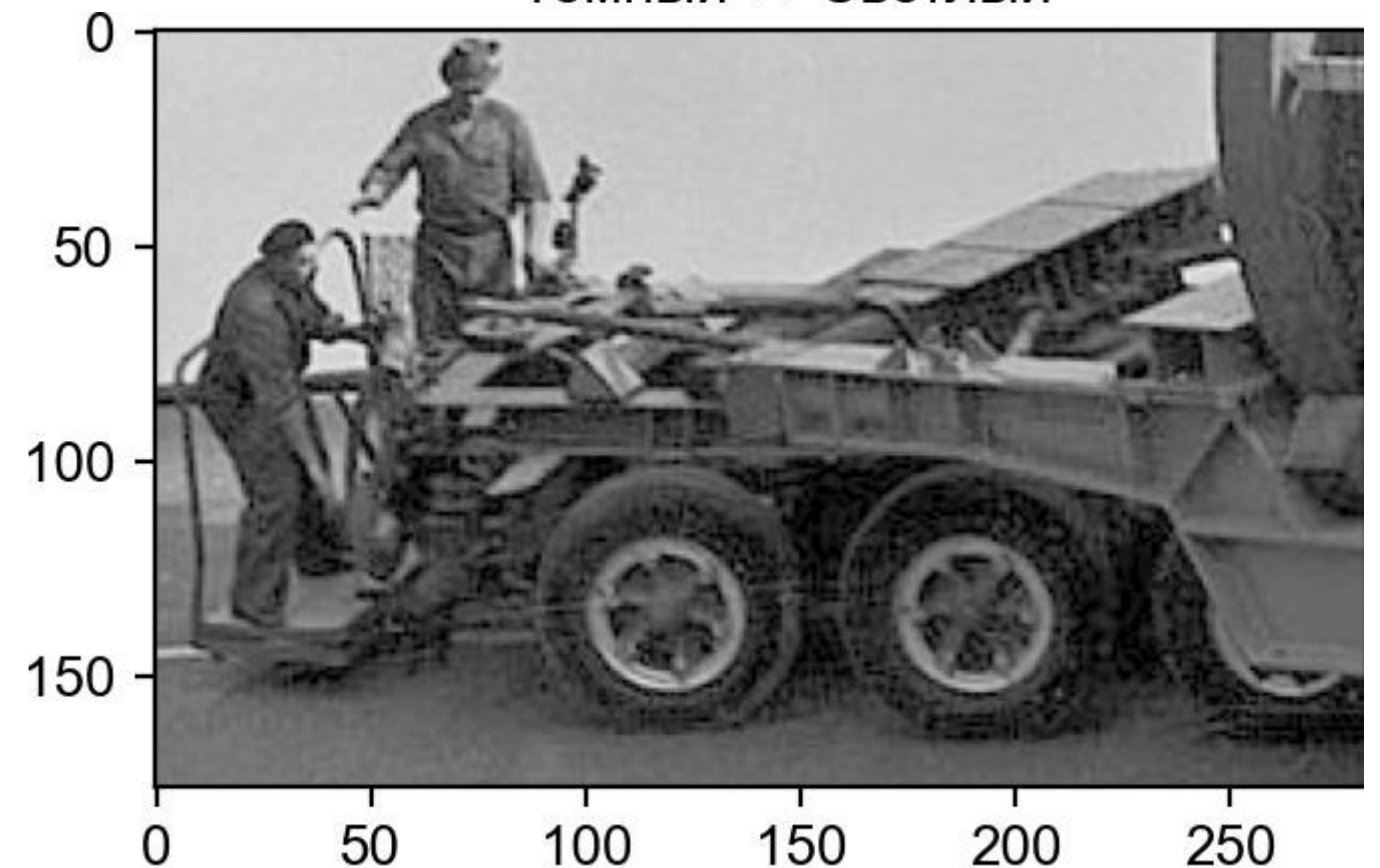
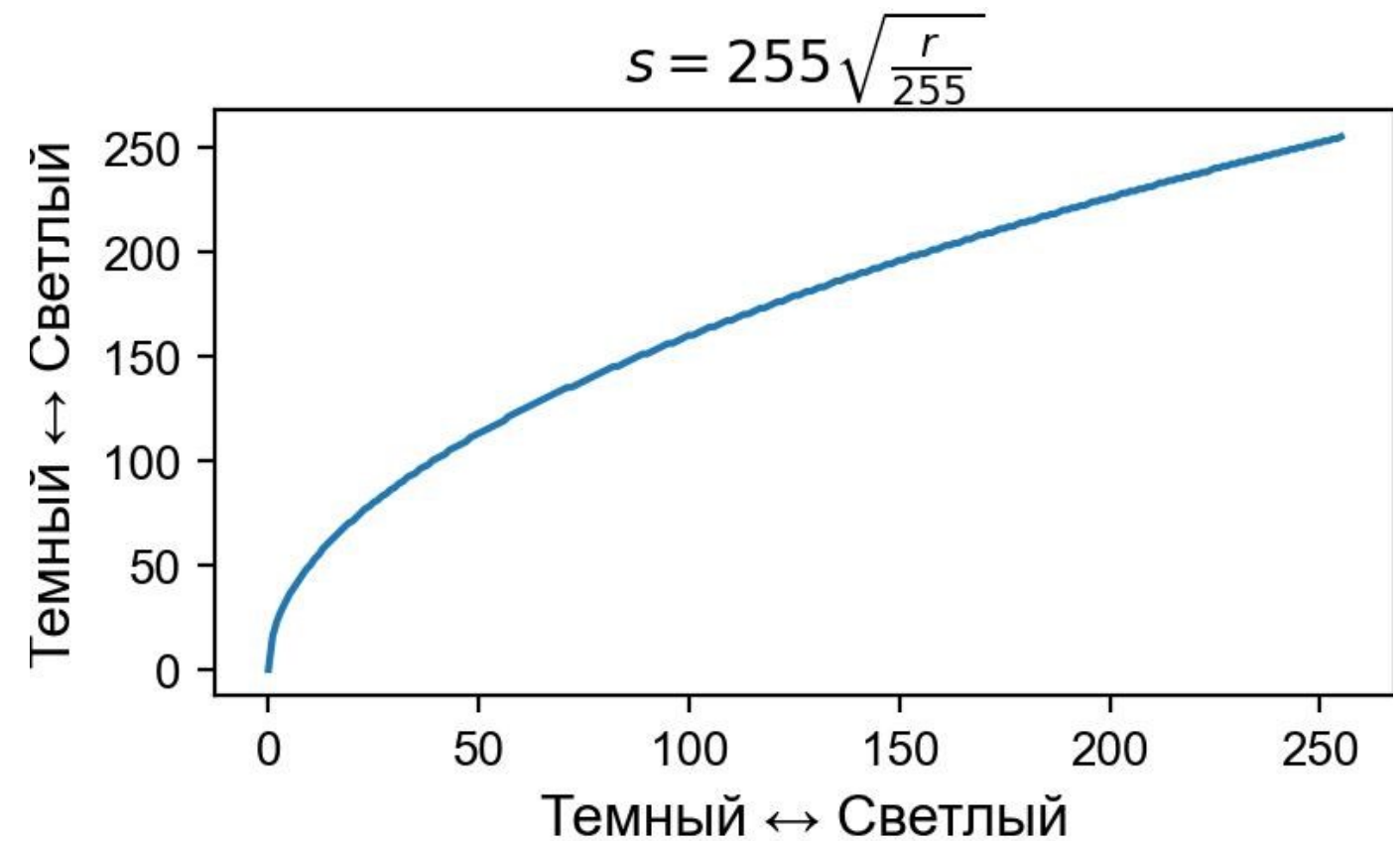
РК: $m=100$, $E = 20$



Извлечение квадратного корня

$$s = T(r) = \sqrt{r}$$

Данное отображение может использоваться для осветления темных областей на изображении.

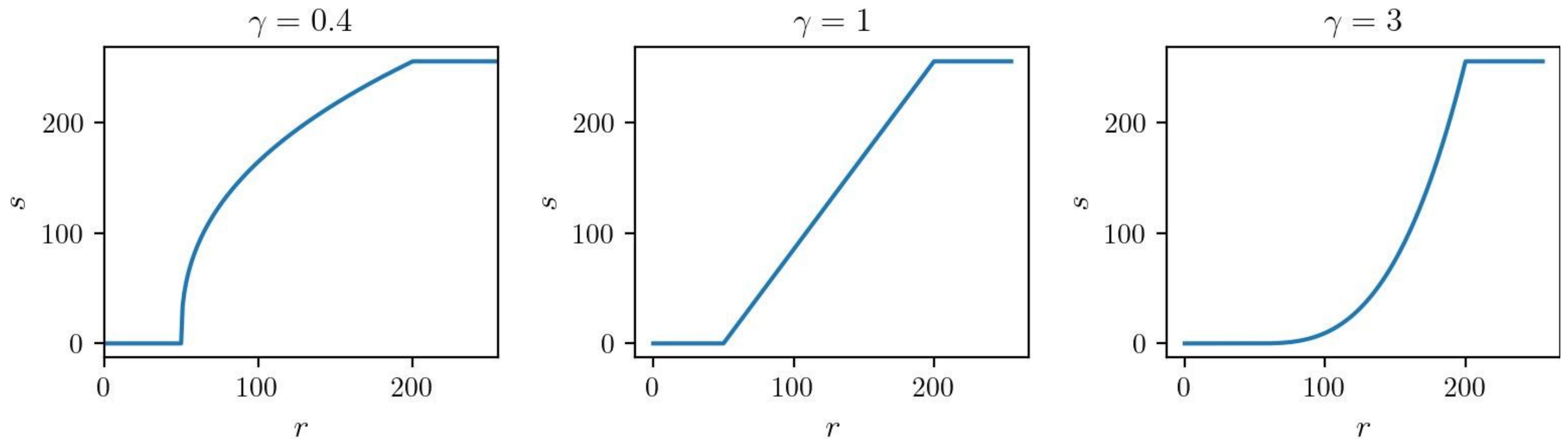


Степенное преобразование

$$s = T(r) = \left(\frac{x - r_{min}}{r_{max} - r_{min}} \right)^\gamma (v_{max} - v_{min}) + v_{min},$$

где γ – задает форму кривой отображения яркости, v_{min} , v_{max} – минимальное и максимальное допустимое значение.

Пример: $r_{min} = 50$, $r_{max} = 200$



Степенное преобразование: примеры



Степенное преобразование с ограничением входного диапазона

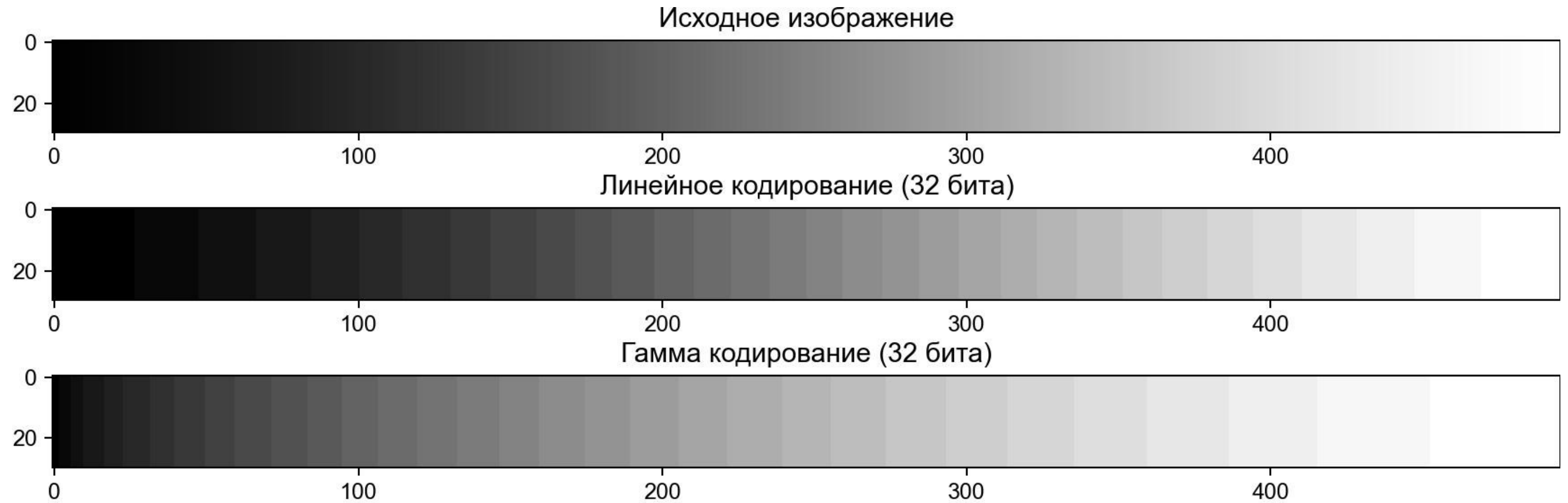
$$s = T(r) = \left(\frac{\min(\max(r, r_L), r_H) - r_L}{r_H - r_L} \right)^\gamma (v_{max} - v_{min}) + v_{min},$$

Иногда на практике требуется выполнить степенное преобразование в определенном диапазоне яркости $[r_L, r_H]$. В этом случае все пиксели изображения, которые имеют яркость $x < r_L$ отображаются в значение $y = v_{min}$, а пиксели со значением $x > r_H$ отображаются в значение $y = v_{max}$.

Гамма-кодирование

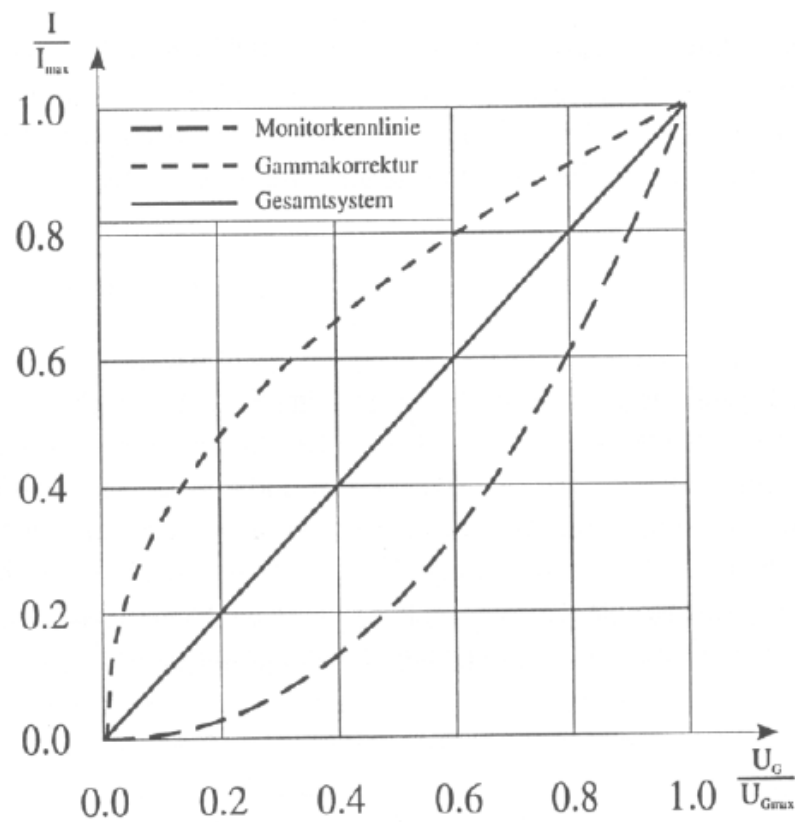
- ✓ Гамма-кодирование – способ преодолеть разрыв между тем, что воспринимает человеческий глаз, и тем, что фиксирует камера, гамма-коррекция важна для правильного отображения изображения на экране.
- ✓ Изображения с гамма-кодировкой более эффективно сохраняют тона. Поскольку гамма-кодирование перераспределяет уровни тональности в соответствии с тем, как их воспринимают наши глаза, для описания заданного диапазона тонов требуется меньше битов. В противном случае избыток битов был бы отведен для описания более ярких тонов (где камера относительно более чувствительна), а недостаток битов был бы оставлен для описания более темных тонов (где камера относительно менее чувствительна).

Гамма-коррекция



Линейное кодирование используется недостаточно уровней для описания темных тонов, хотя это приводит к избытку уровней для описания светлых тонов. С другой стороны, гамма-кодируемый градиент, распределяет тона примерно равномерно по всему диапазону ("воспринимаемо однородно"). Это также гарантирует, что последующее редактирование изображений, цветопередача и гистограммы будут основаны на естественных, визуально однородных тонах.

Отображение изображения на мониторе

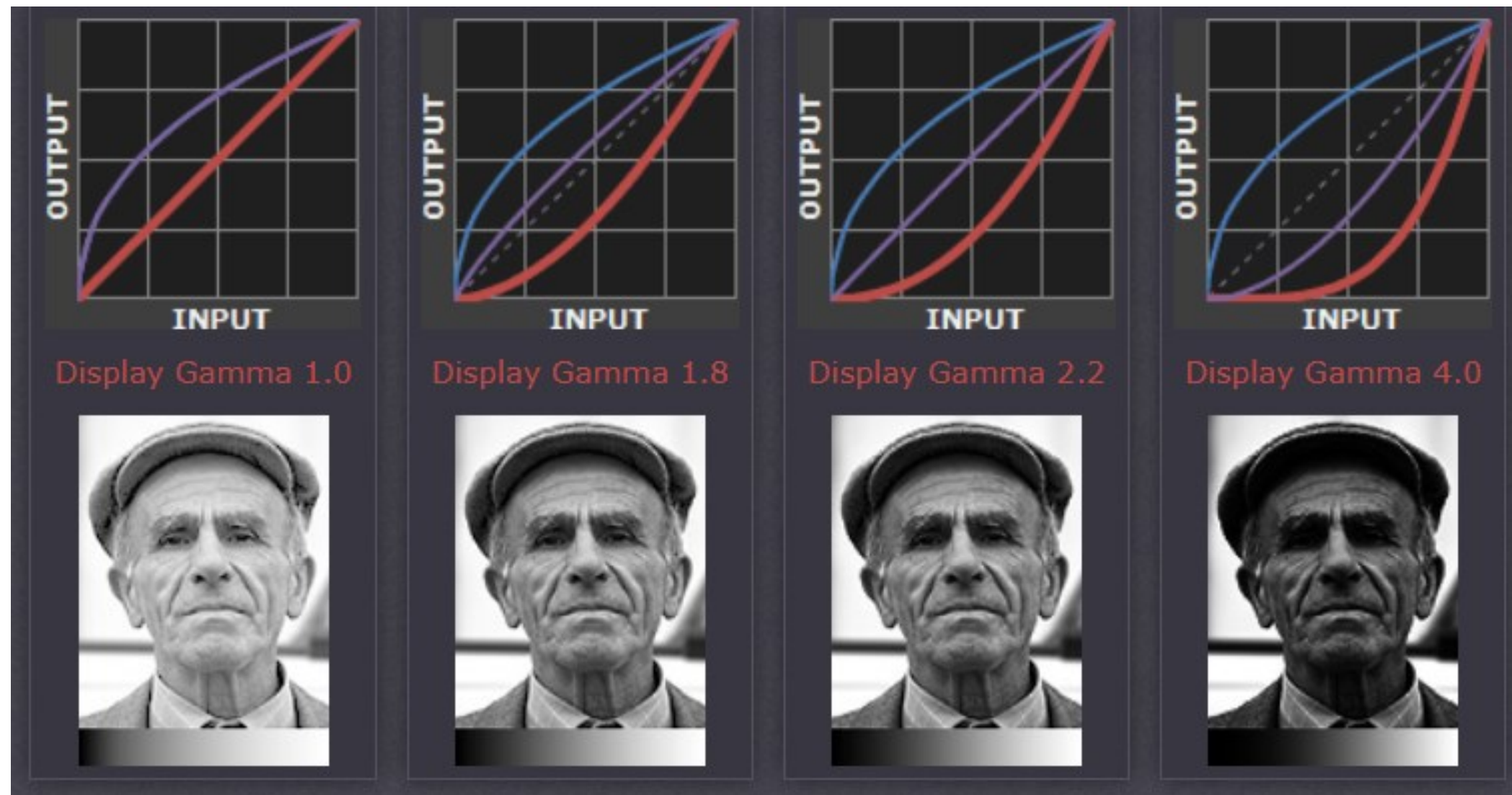


В мониторах интенсивность I электронного пучка нелинейна по отношению к приложенному напряжению U .
Наилучшим образом зависимость описывается как

$$I = U^\gamma, \quad \gamma = 2,2$$



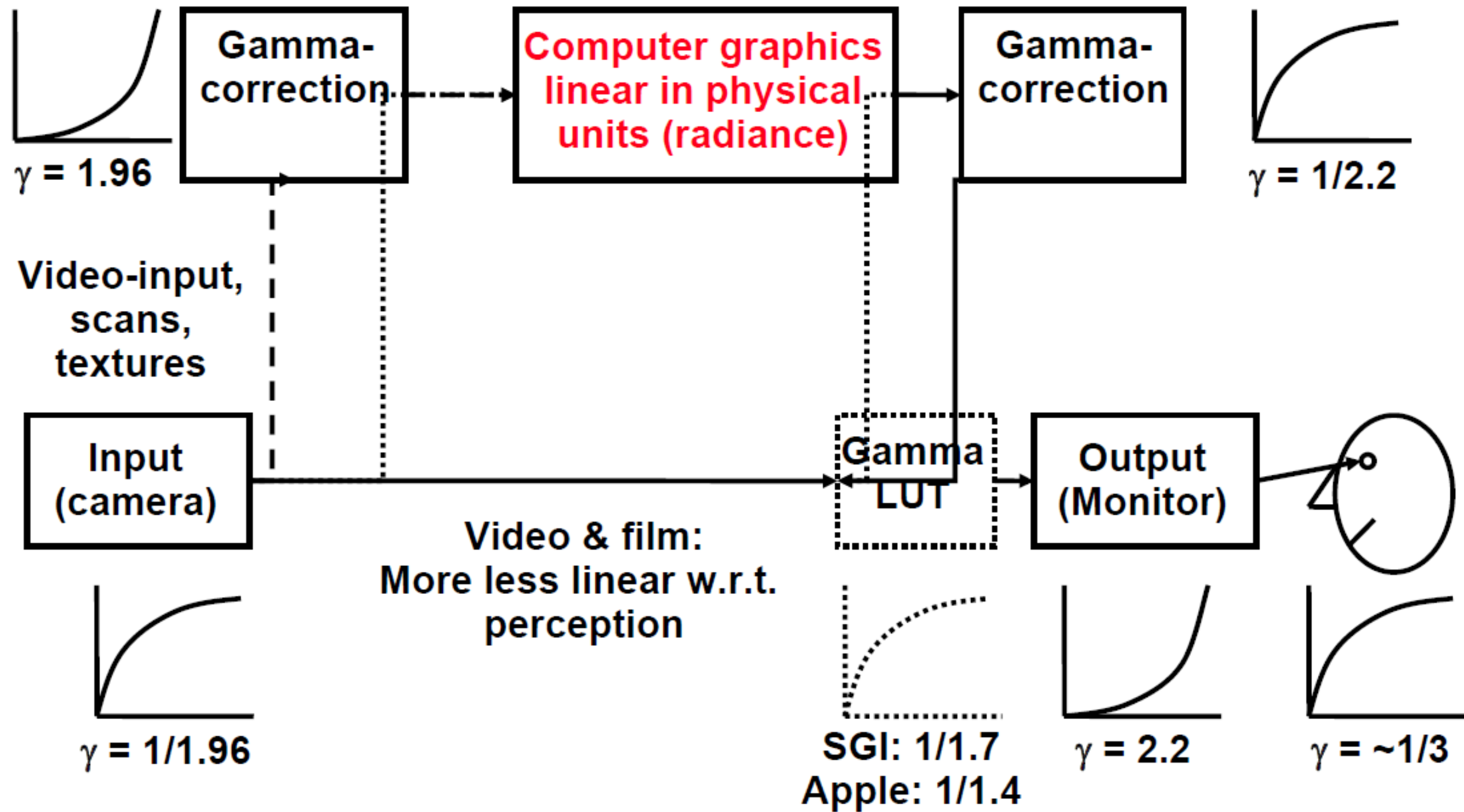
Отображение изображения на мониторе



Гамма дисплея компенсирует гамму файла изображения, конечным результатом компенсации является системная/общая гамма. Таким образом, для файла изображения со стандартным кодированием гаммы (синий) изменение гаммы дисплея (красный) окажет общее воздействие (фиолетовый).

¹ <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/gamma-correction.htm>

Гамма-коррекция общая схема

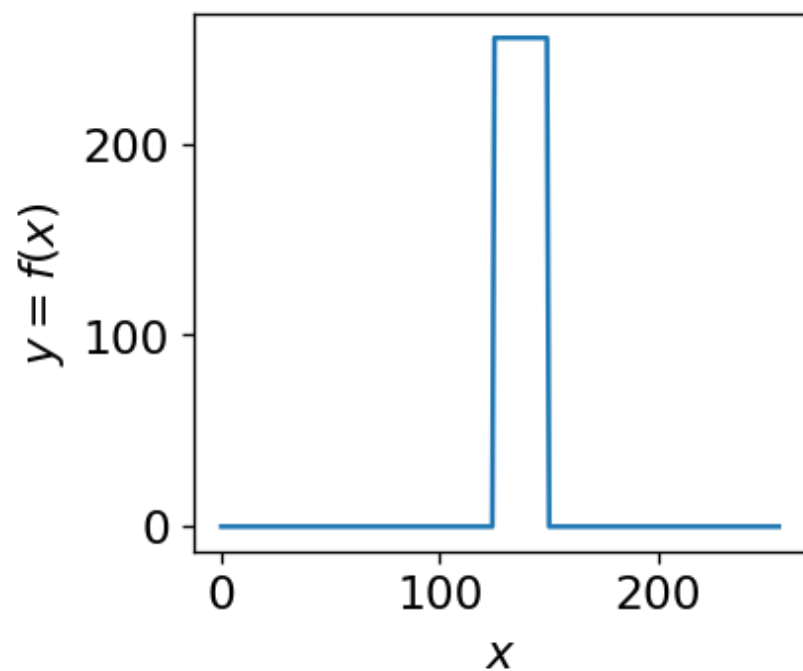


Источник изображения².

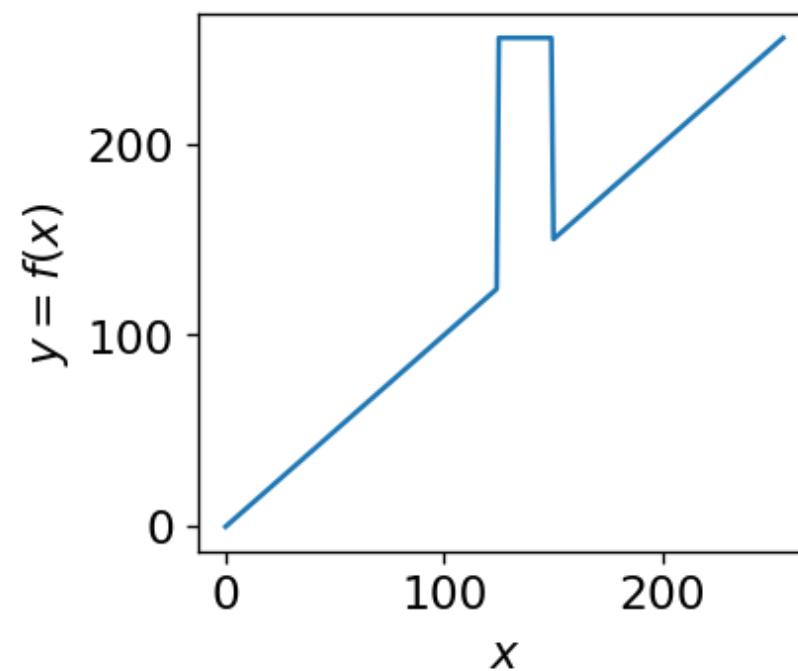
² <https://resources.mpi-inf.mpg.de/departments/d4/teaching/ws200708/cg/slides/CG12-Color.pdf>

Яркостный срез

Яркостный срез можно выделить области изображения с яркостью из определенного интервала. При этом остальным областям можно присвоить черный цвет и получить бинарное изображение или оставить неизменными. Перемещая выделенный интервал по шкале яркости и изменяя его ширину, можно детально исследовать содержание изображения.



а

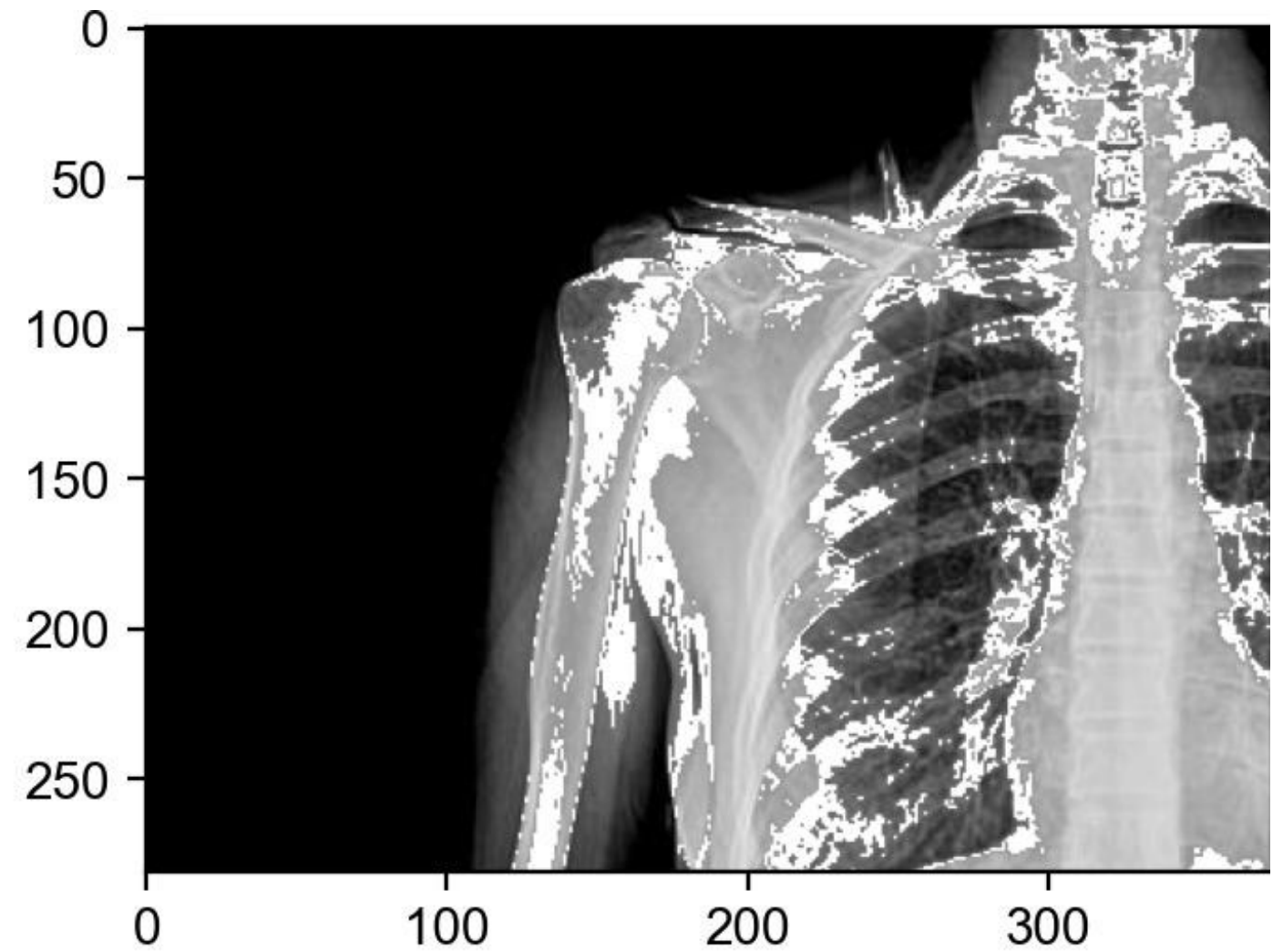
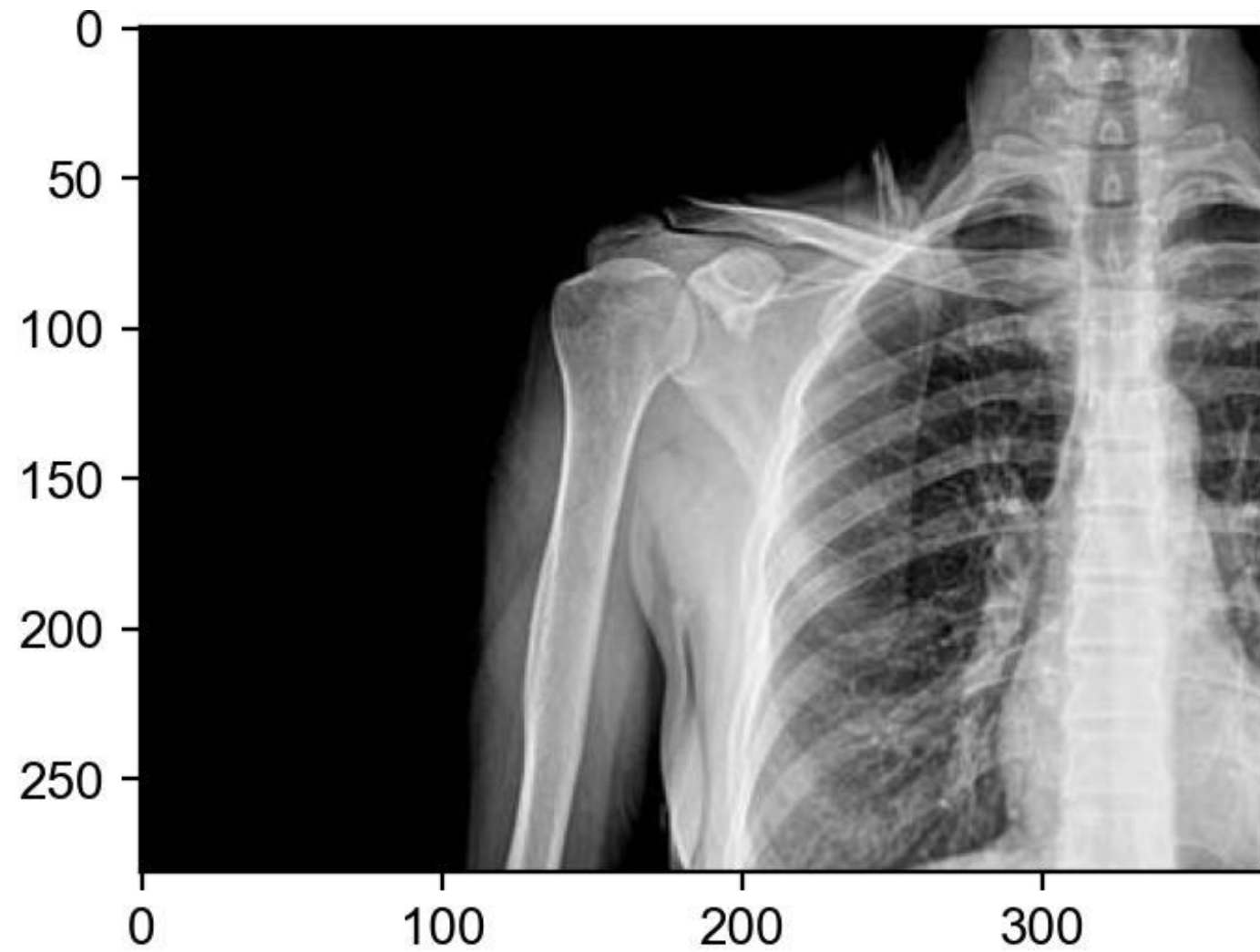


б

Функция среза для первого варианта (а):

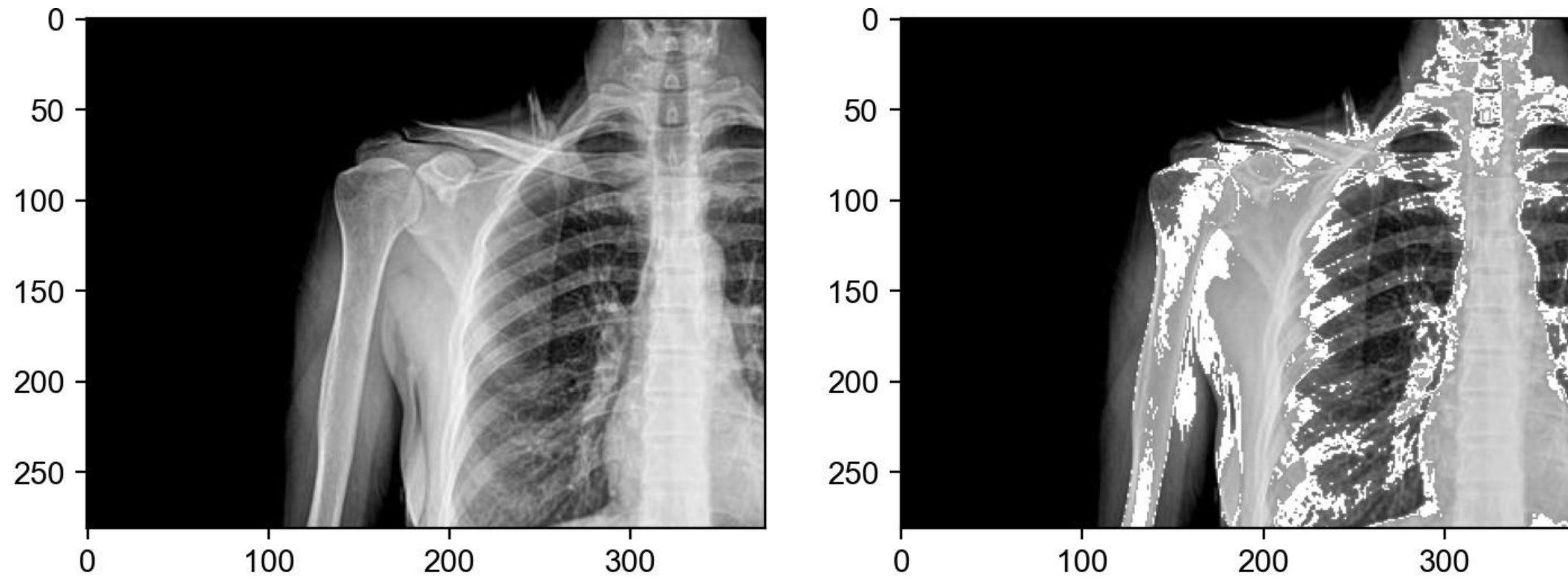
$$s = T(r) = \begin{cases} 255, & \text{если } r_{min} < r < r_{max} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Яркостный срез: пример

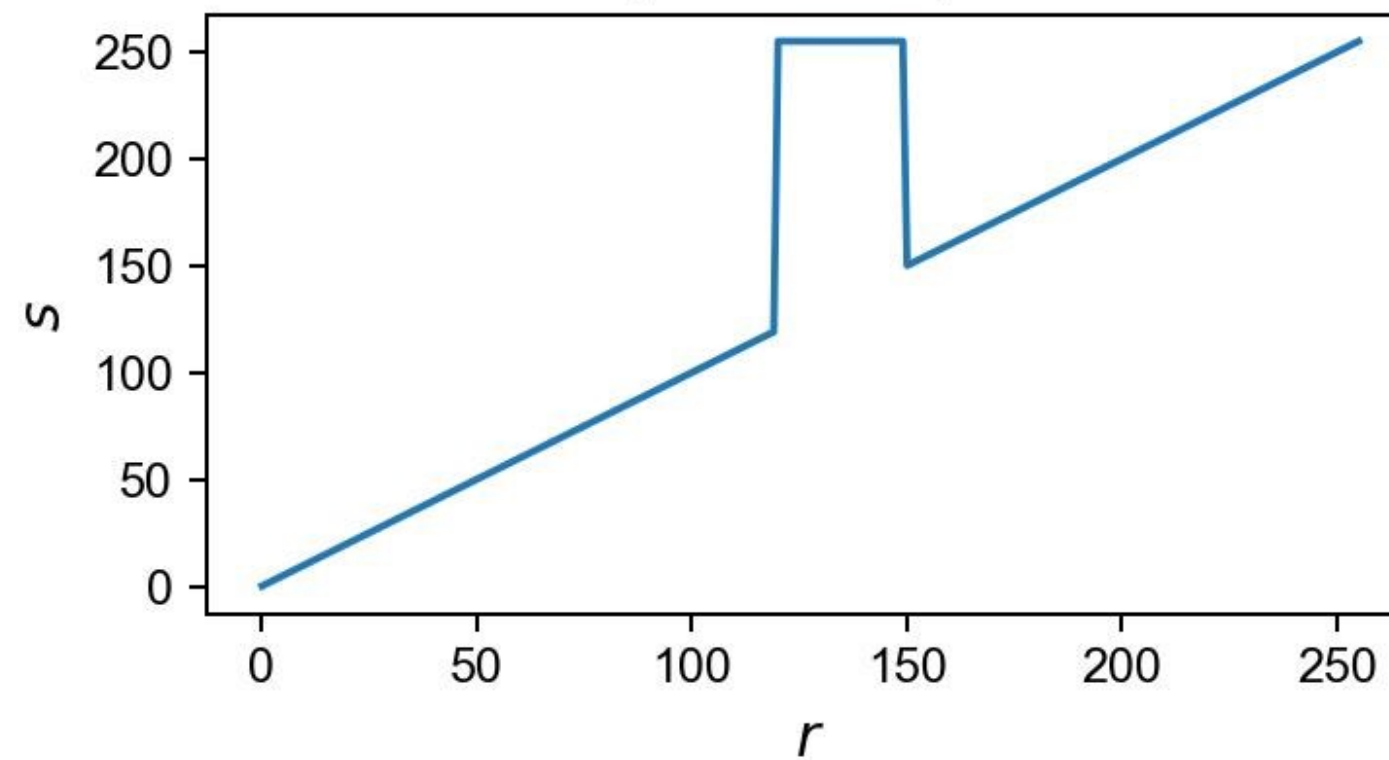


Какой тип яркостного среза был применен?

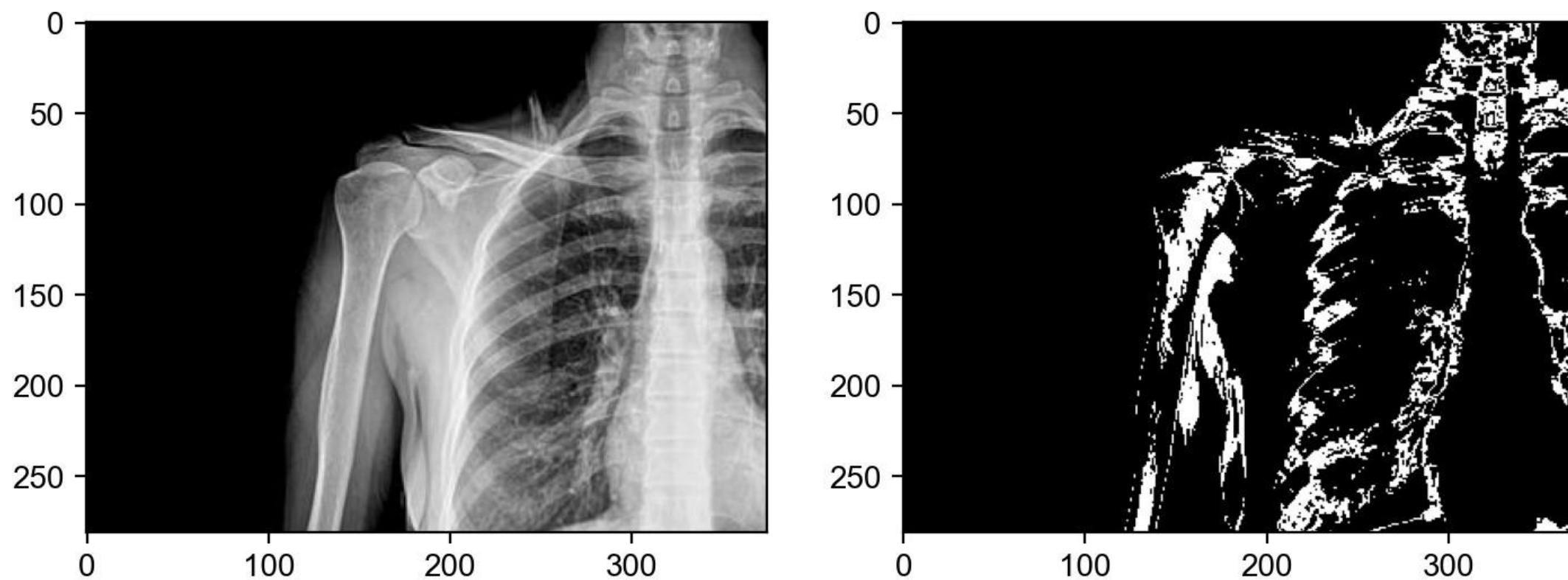
Яркостный срез: пример



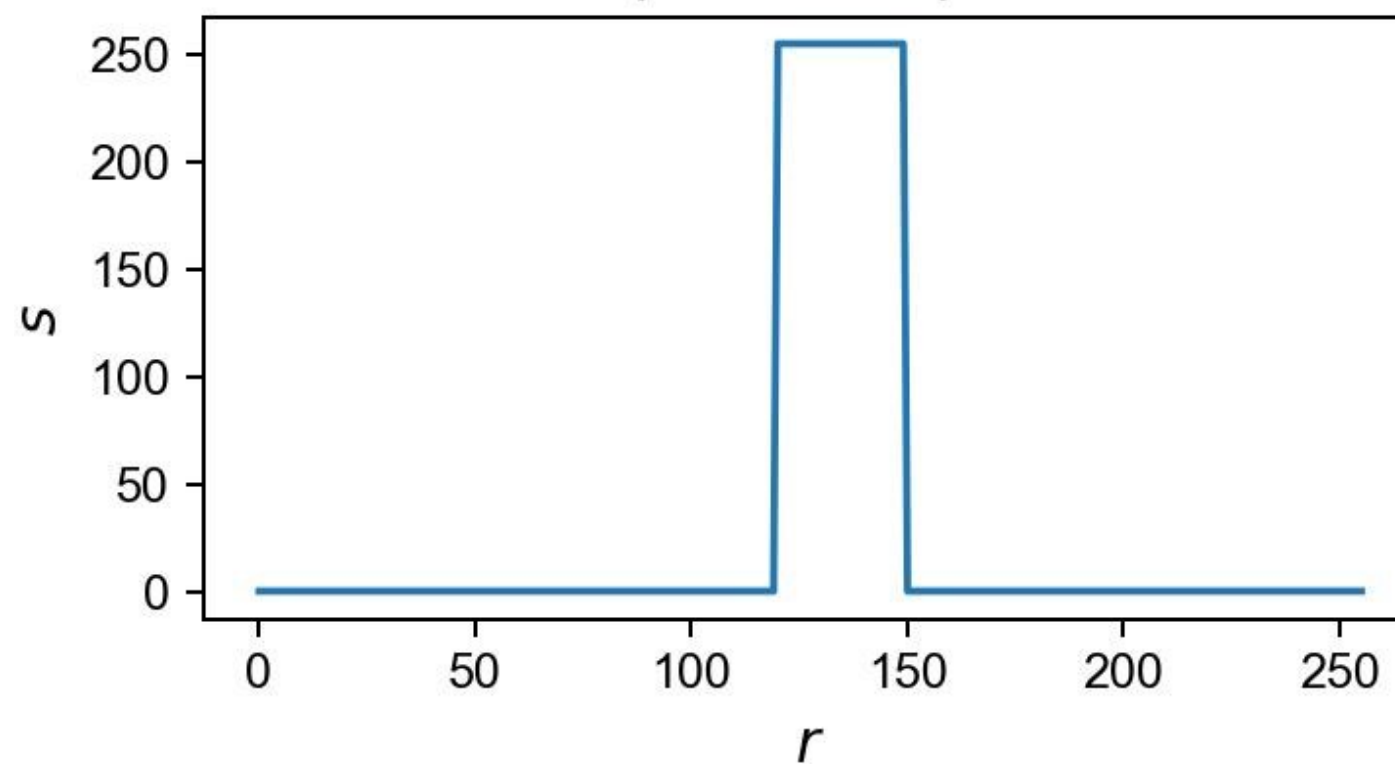
Яркостный срез



Яркостный срез: пример

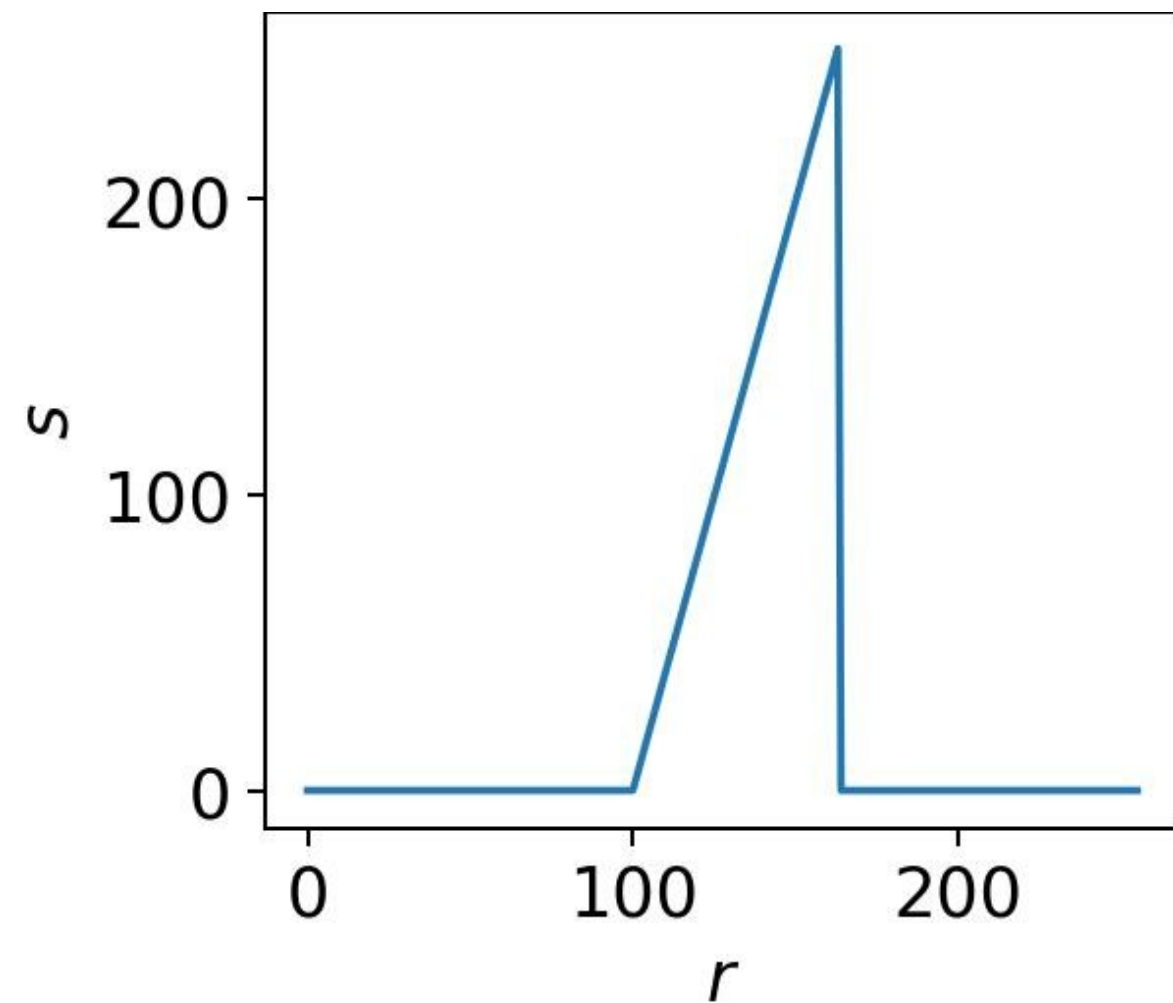
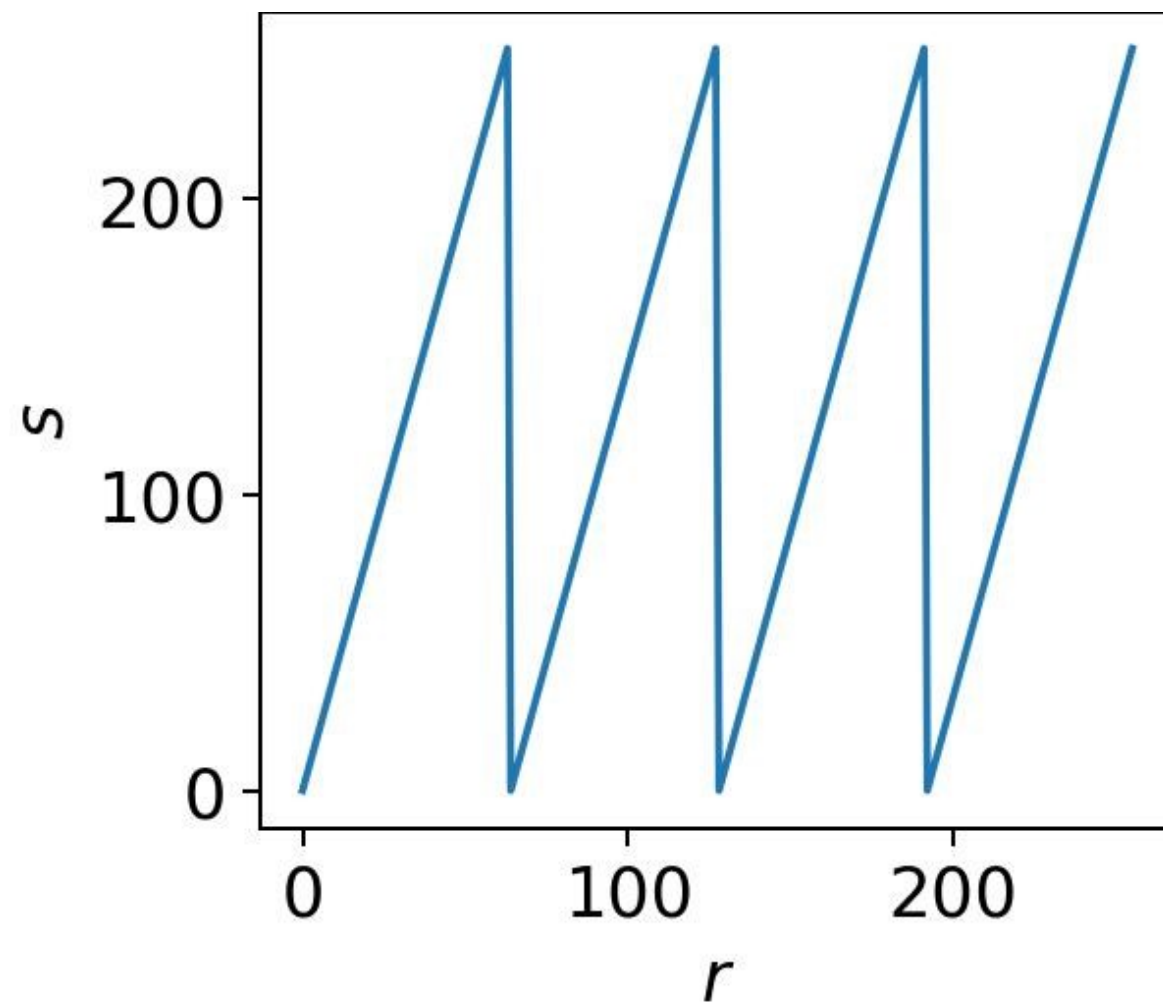


Яркостный срез

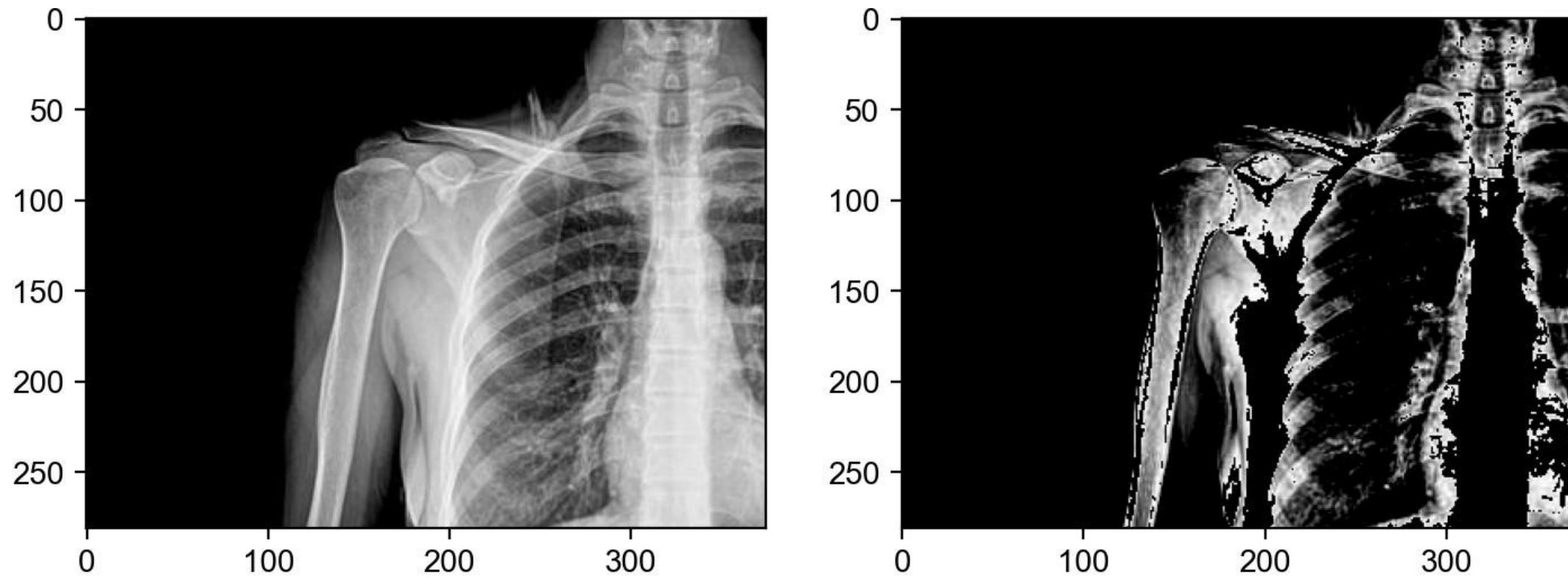


Пилообразное контрастирование

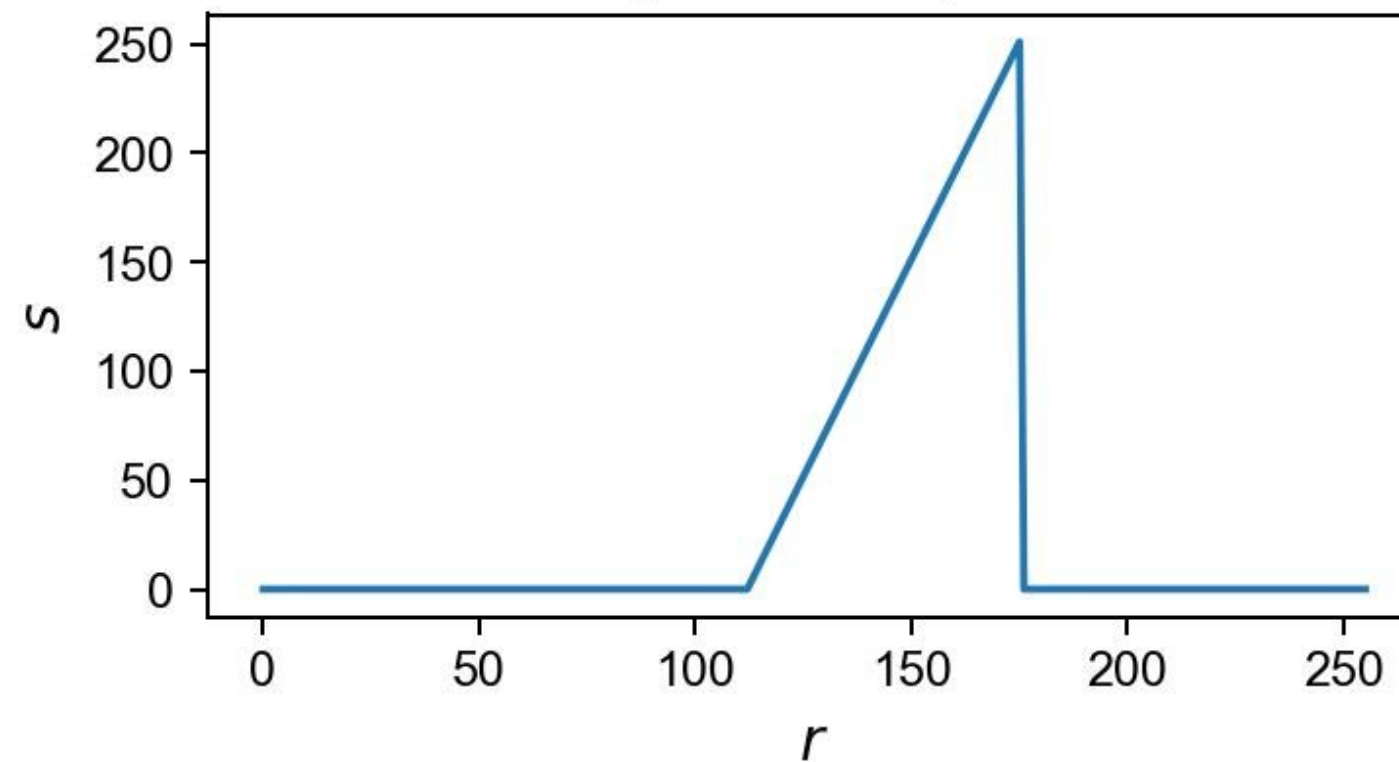
Пилообразное контрастирование – увеличение контрастности в одном или нескольких диапазонах яркости. Оно также позволяет повысить детальность изображения в выбранном интервале яркости.



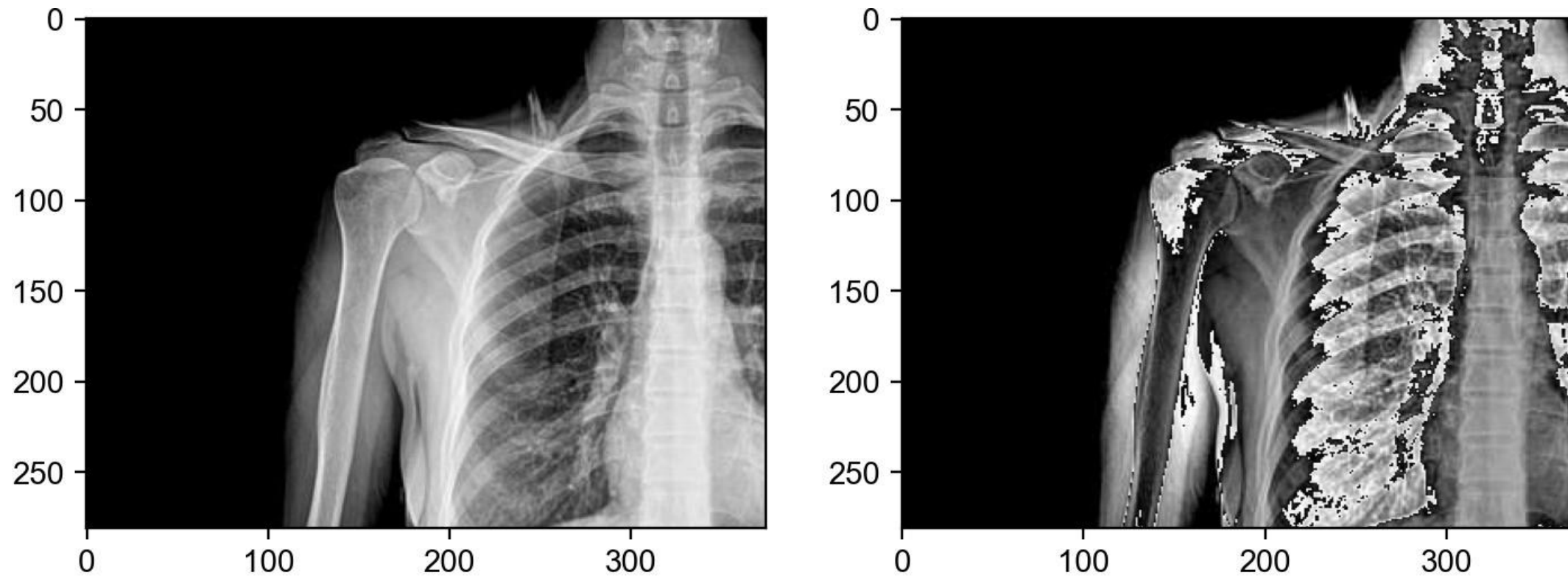
Пилообразное контрастирование: примеры



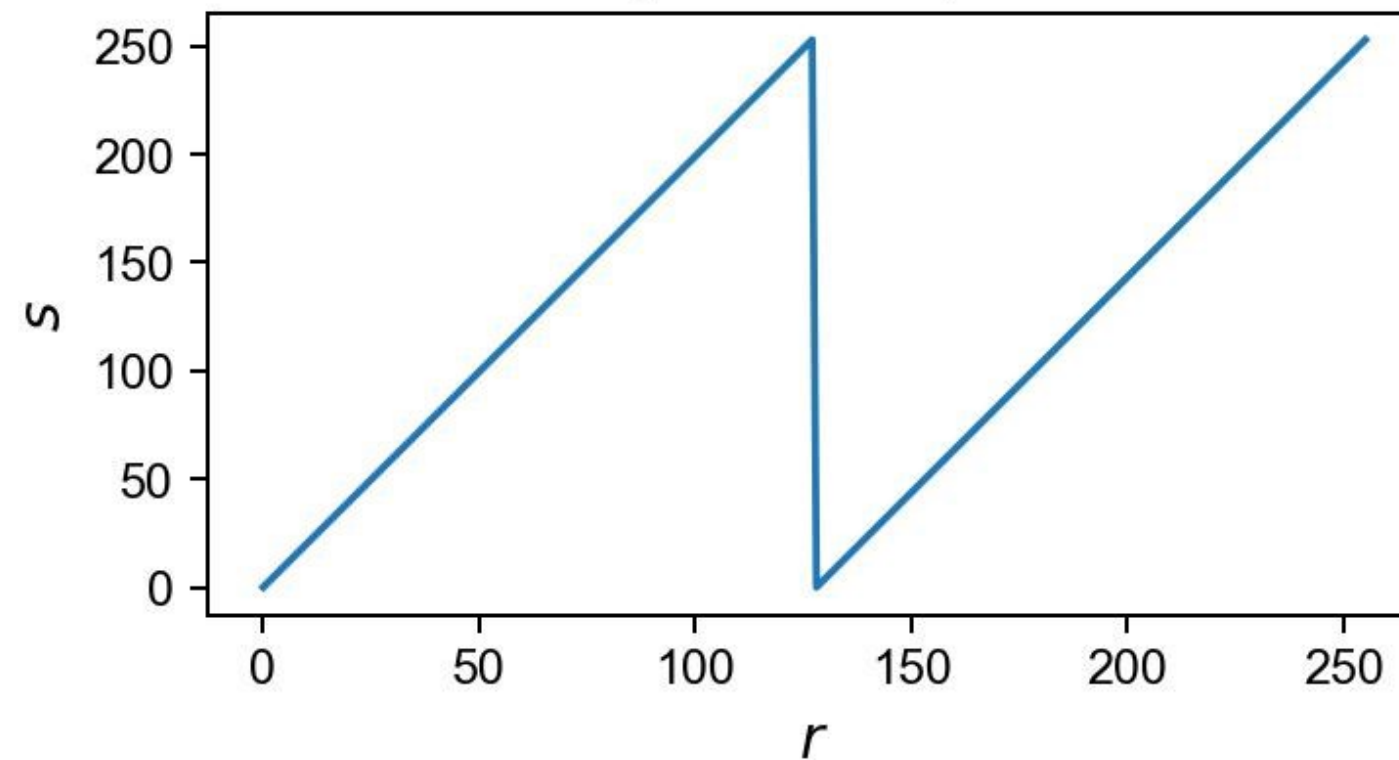
Яркостный срез



Пилообразное контрастирование: примеры



Яркостный срез



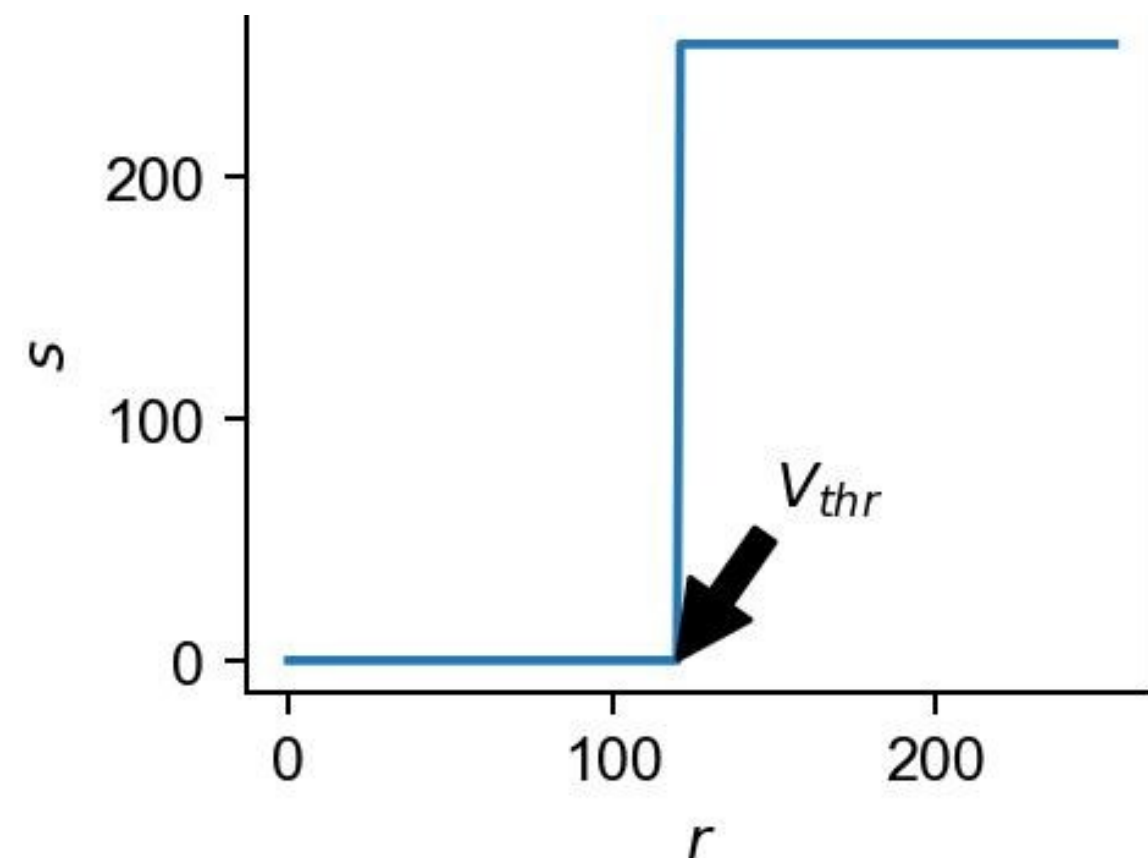
Бинаризация изображения

Бинаризация преобразует полутоновое изображение в бинарное (черно-белое). Преобразование имеет единственный параметр – порог V_{thr} , относительно которого яркость пикселей меняется на черную или белую.

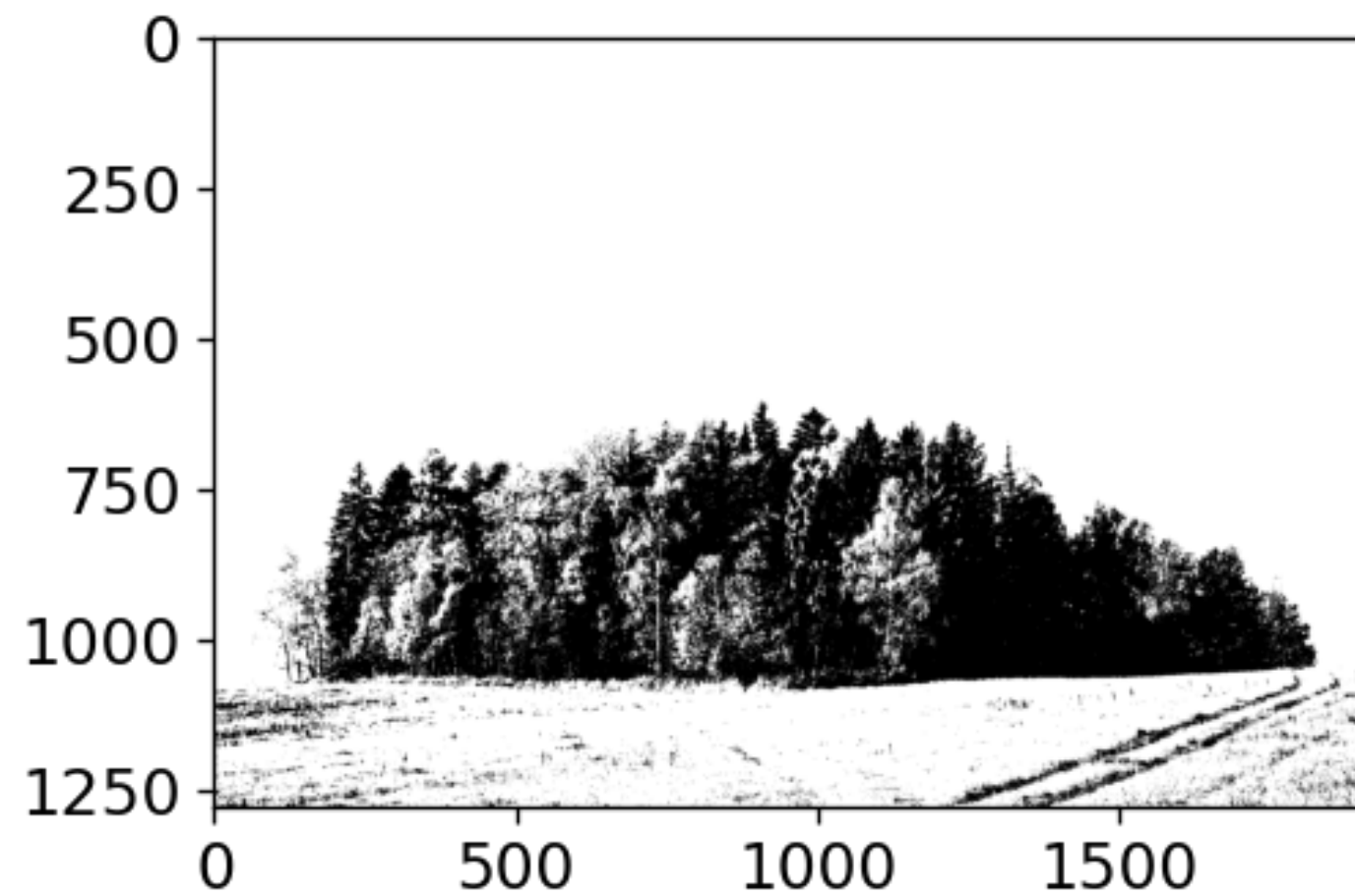
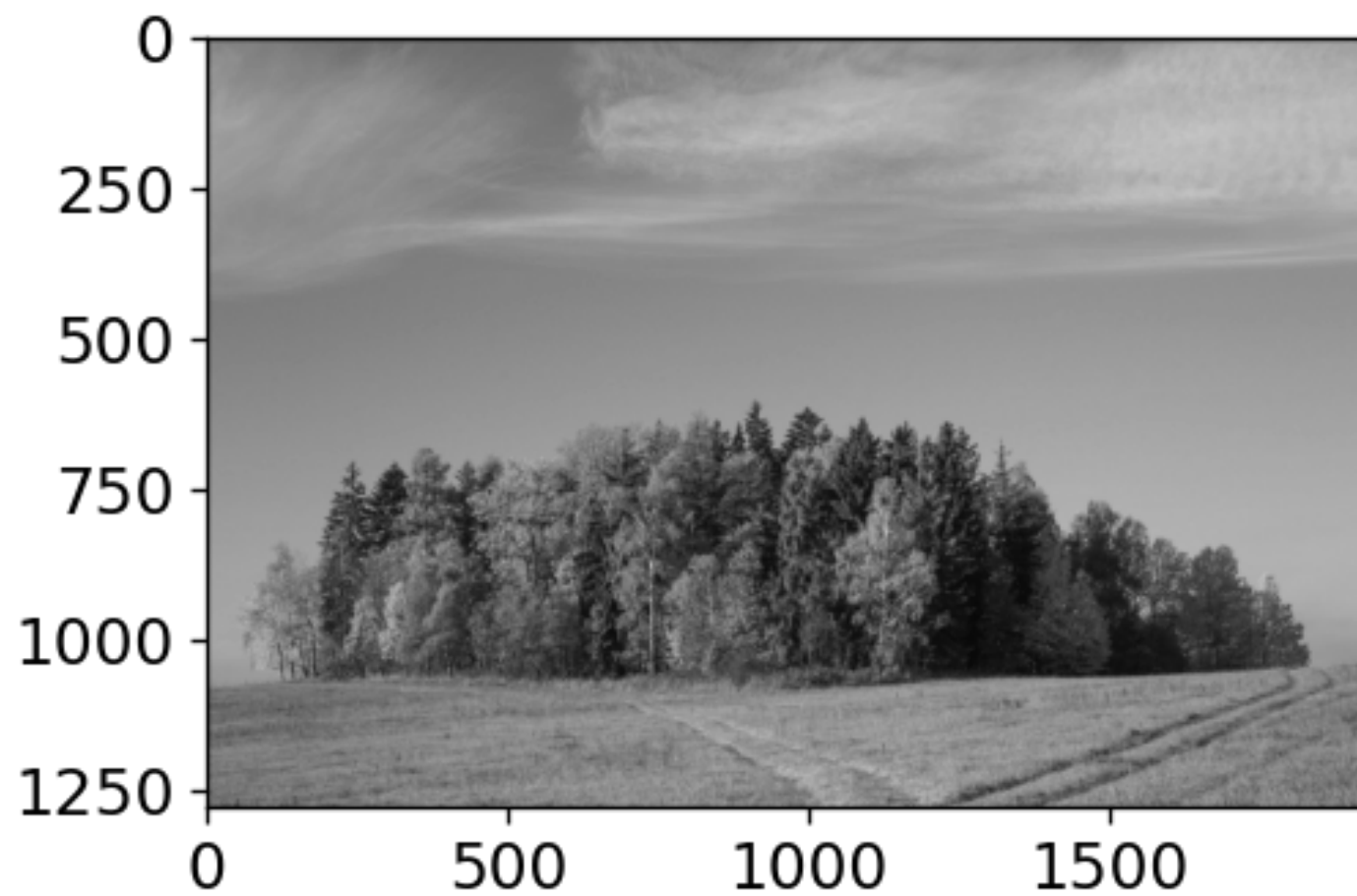
$$s = T(r) = \begin{cases} 255, & \text{если } x > V_{thr} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Наиболее простой вариант выбора порога заключается в нахождении минимального V_{min} и максимального V_{max} значений яркости изображения и вычисления среднего между ними:

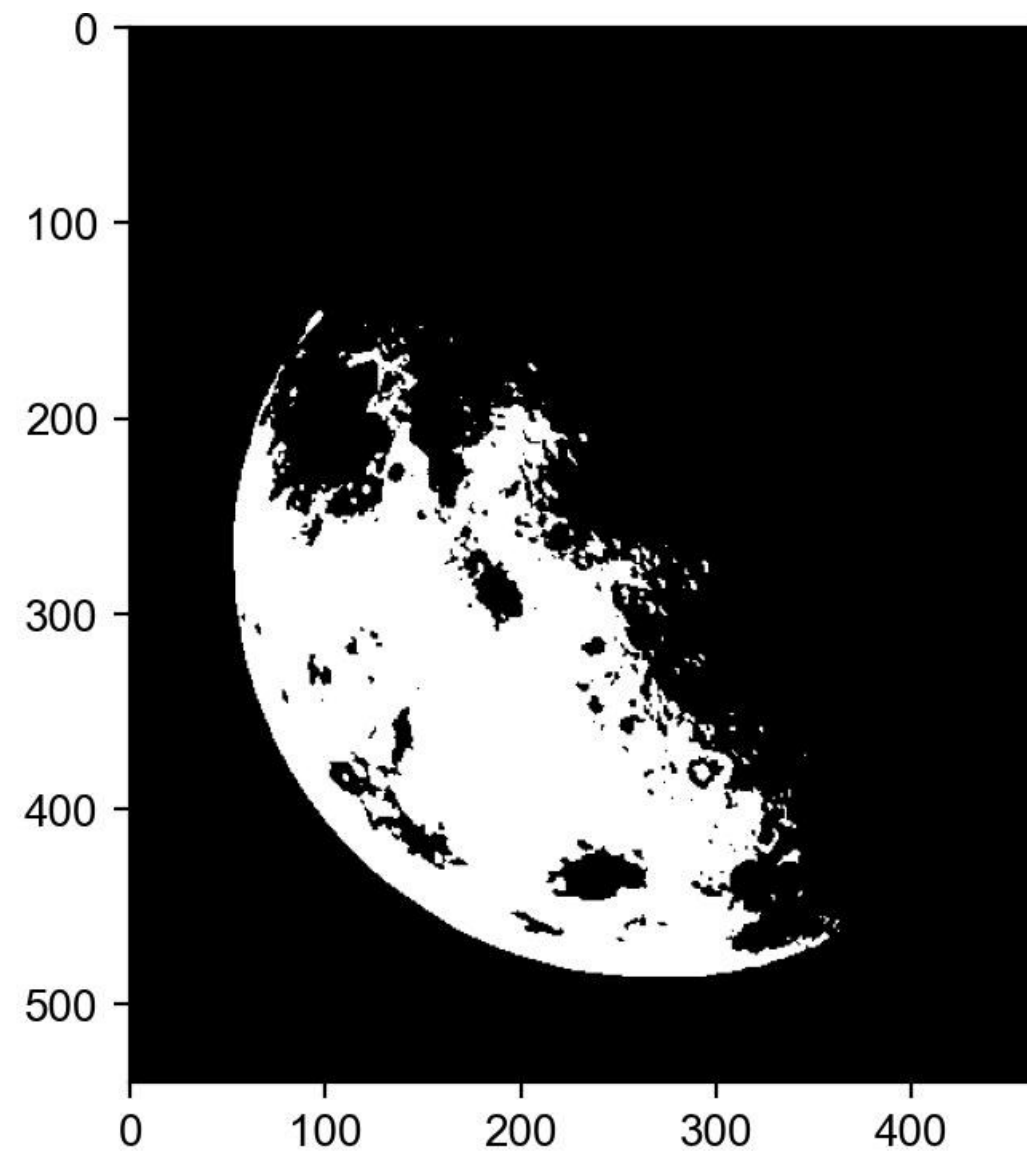
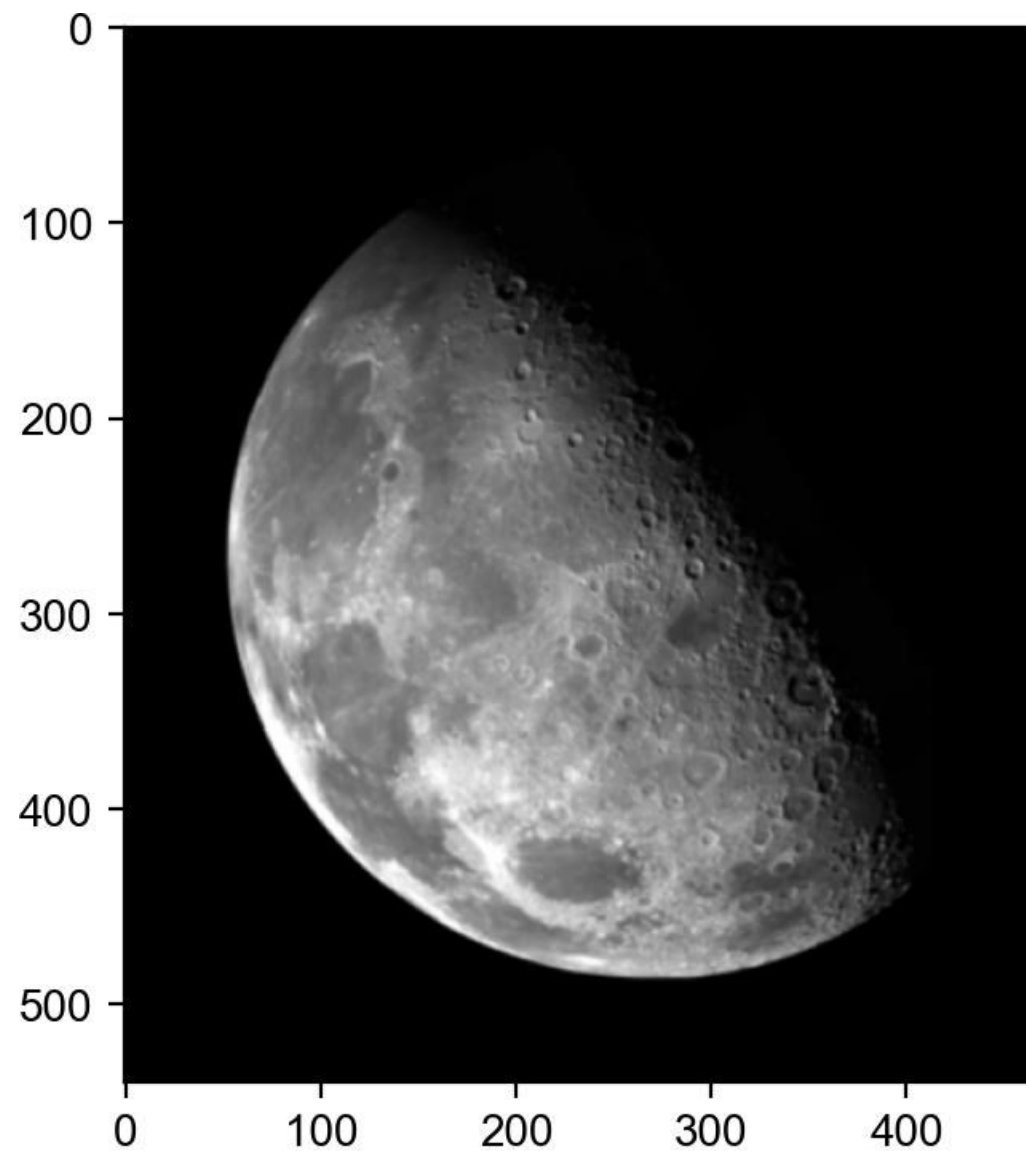
$$V_{thr} = \frac{V_{max} - V_{min}}{2}.$$



Бинаризация изображения: пример



Бинаризация изображения: пример

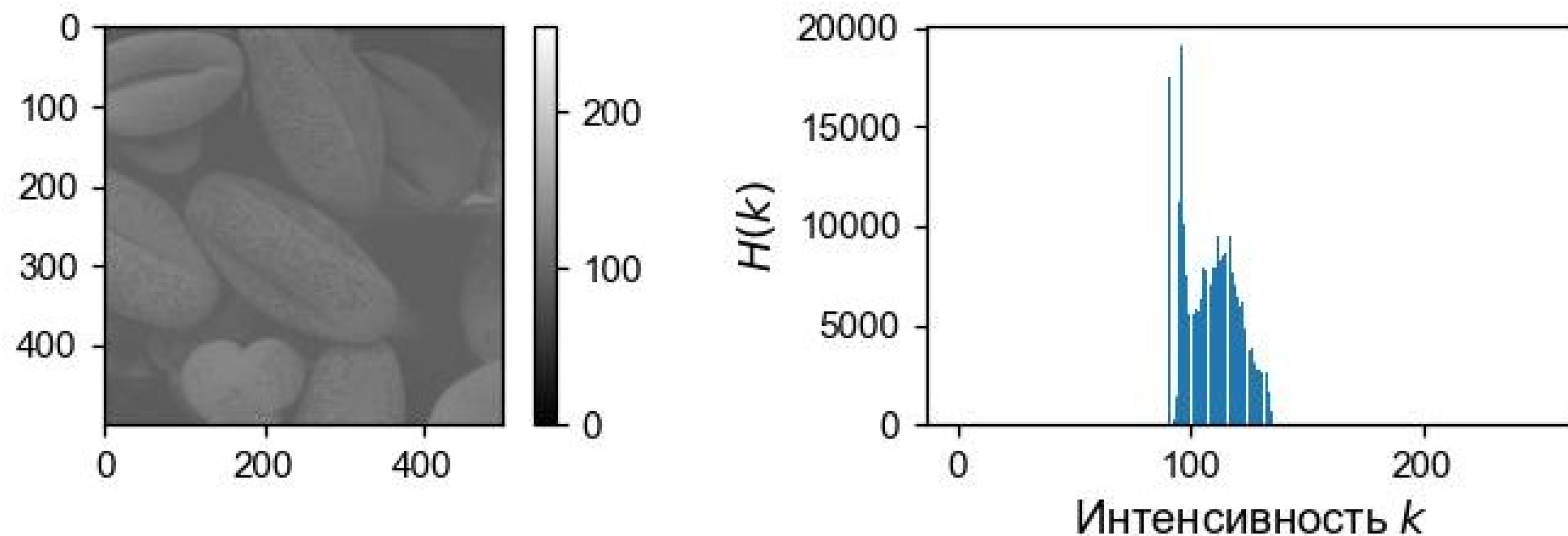


Метод Отсу

Более продвинутый метод нахождения порога V_{thr} для бинаризации изображения, основанный на использовании гистограммы изображения.

ЭКВАЛИЗАЦИЯ ГИСТОГРАММЫ

Эквализация гистограммы



Проблема: изображение имеет низкий контраст, динамический диапазон интенсивностей используется неэффективно.

Решение: необходимо применить преобразование, которое изменит гистограмму изображения таким образом, что каждое значение интенсивности будет равновероятным (такая процедура называется **эквализацией гистограммы** – *histogram equalization*).

Эквализация гистограммы: базовые понятия

Пусть $k \in [0, 1]$ – нормированная интенсивность.

Эквализация гистограммы: базовые понятия

Пусть $k \in [0, 1]$ – нормированная интенсивность.

$p(k)$ – распределение вероятностей пикселей исходного изображения.

Эквализация гистограммы: базовые понятия

Пусть $k \in [0, 1]$ – нормированная интенсивность.

$p(k)$ – распределение вероятностей пикселей исходного изображения.

$CDF(k) = \int_0^k p(r)dr$ – кумулятивная функция распределения.

Эквализация гистограммы: базовые понятия

Пусть $k \in [0, 1]$ – нормированная интенсивность.

$p(k)$ – распределение вероятностей пикселей исходного изображения.

$CDF(k) = \int_0^k p(r)dr$ – кумулятивная функция распределения.

Мы ищем **монотонную** функцию $T: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ в результате применения которой к изображению распределение вероятностей пикселей примет «равномерный» вид $p_{eq}(k)$.

Эквализация гистограммы: базовые понятия

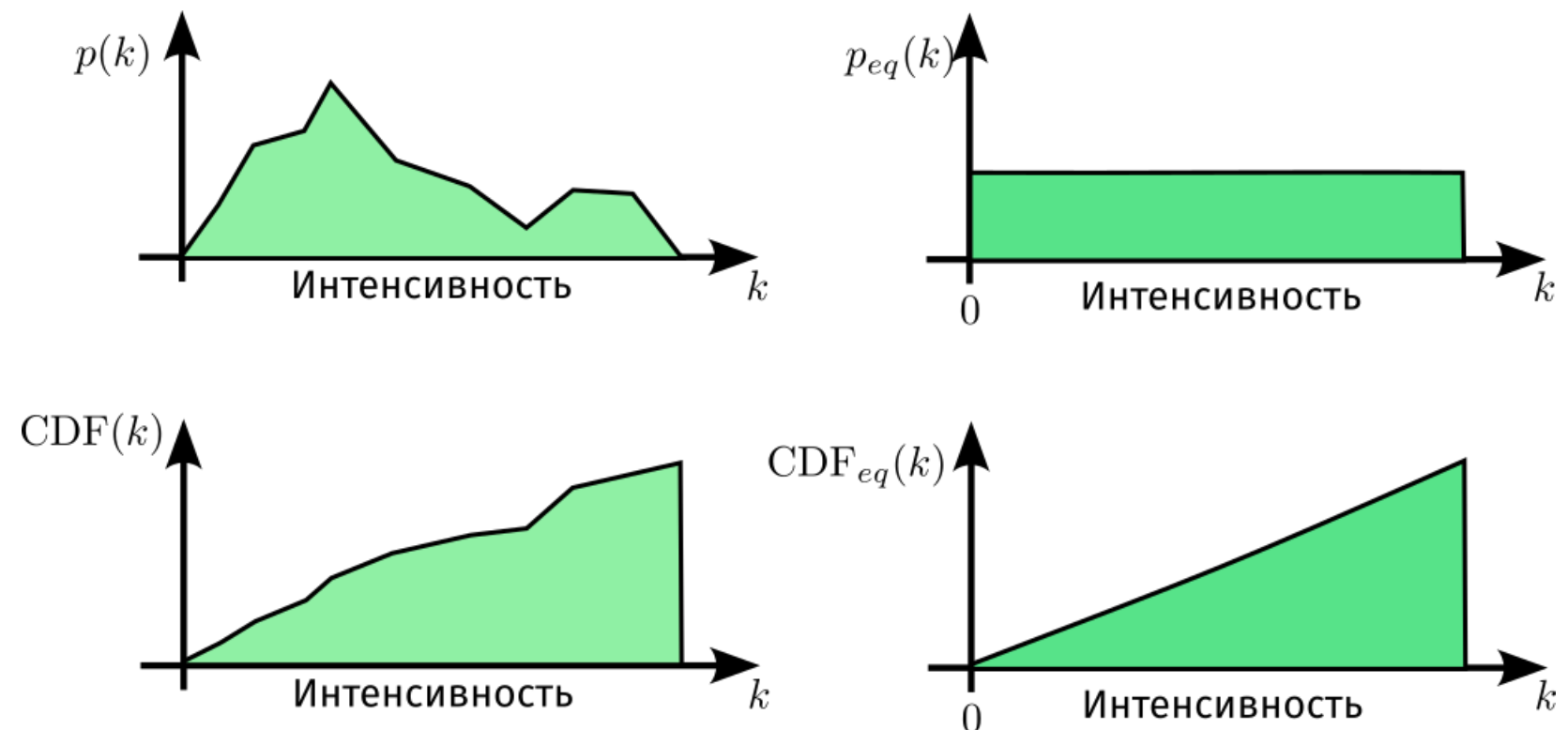
Пусть $k \in [0, 1]$ – нормированная интенсивность.

$p(k)$ – распределение вероятностей пикселей исходного изображения.

$CDF(k) = \int_0^k p(r)dr$ – кумулятивная функция распределения.

Мы ищем **монотонную** функцию $T: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ в результате применения которой к изображению распределение вероятностей пикселей примет «равномерный» вид $p_{eq}(k)$.

Для равномерного распределения $p_{eq}(k)$ кумулятивная функция распределения имеет линейный вид.



Эквализация гистограммы

✓ Пусть $f(x, y)$ – исходное изображение, а $g(x, y)$ – результирующее, а $CDF_f(k)$ и $CDF_g(k)$ – это кумулятивные функции распределения для изображений f и g соответственно.

Эквализация гистограммы

✓ Пусть $f(x, y)$ – исходное изображение, а $g(x, y)$ – результирующее, а $CDF_f(k)$ и $CDF_g(k)$ – это кумулятивные функции распределения для изображений f и g соответственно.

✓ По определению: $CDF_g(k) = \text{Prob}(g(x, y) < k)$ – вероятность того, что произвольный пиксель изображения g будет иметь интенсивность меньше k .

Эквализация гистограммы

✓ Пусть $f(x, y)$ – исходное изображение, а $g(x, y)$ – результирующее, а $CDF_f(k)$ и $CDF_g(k)$ – это кумулятивные функции распределения для изображений f и g соответственно.

✓ По определению: $CDF_g(k) = \text{Prob}(g(x, y) < k)$ – вероятность того, что произвольный пиксель изображения g будет иметь интенсивность меньше k .

✓ Изображение g получается из f путем применения искомого преобразования T , поэтому

$$CDF_g(k) = \text{Prob}(g(x, y) < k) = \text{Prob}(T(f(x, y)) < k)$$

Эквализация гистограммы

✓ Пусть $f(x, y)$ – исходное изображение, а $g(x, y)$ – результирующее, а $CDF_f(k)$ и $CDF_g(k)$ – это кумулятивные функции распределения для изображений f и g соответственно.

✓ По определению: $CDF_g(k) = \text{Prob}(g(x, y) < k)$ – вероятность того, что произвольный пиксель изображения g будет иметь интенсивность меньше k .

✓ Изображение g получается из f путем применения искомого преобразования T , поэтому

$$CDF_g(k) = \text{Prob}(g(x, y) < k) = \text{Prob}(T(f(x, y)) < k)$$

✓ Поскольку T монотонная функция, то можно преобразовать неравенство $T(f(x, y)) < k$ к виду $f(x, y) < T^{-1}(k)$, т.е.

$$CDF_g(k) = \text{Prob}(T(g(x, y)) < k) = \text{Prob}(f(x, y) < T^{-1}(k))$$

Эквализация гистограммы

✓ Пусть $f(x, y)$ – исходное изображение, а $g(x, y)$ – результирующее, а $CDF_f(k)$ и $CDF_g(k)$ – это кумулятивные функции распределения для изображений f и g соответственно.

✓ По определению: $CDF_g(k) = \text{Prob}(g(x, y) < k)$ – вероятность того, что произвольный пиксель изображения g будет иметь интенсивность меньше k .

✓ Изображение g получается из f путем применения искомого преобразования T , поэтому

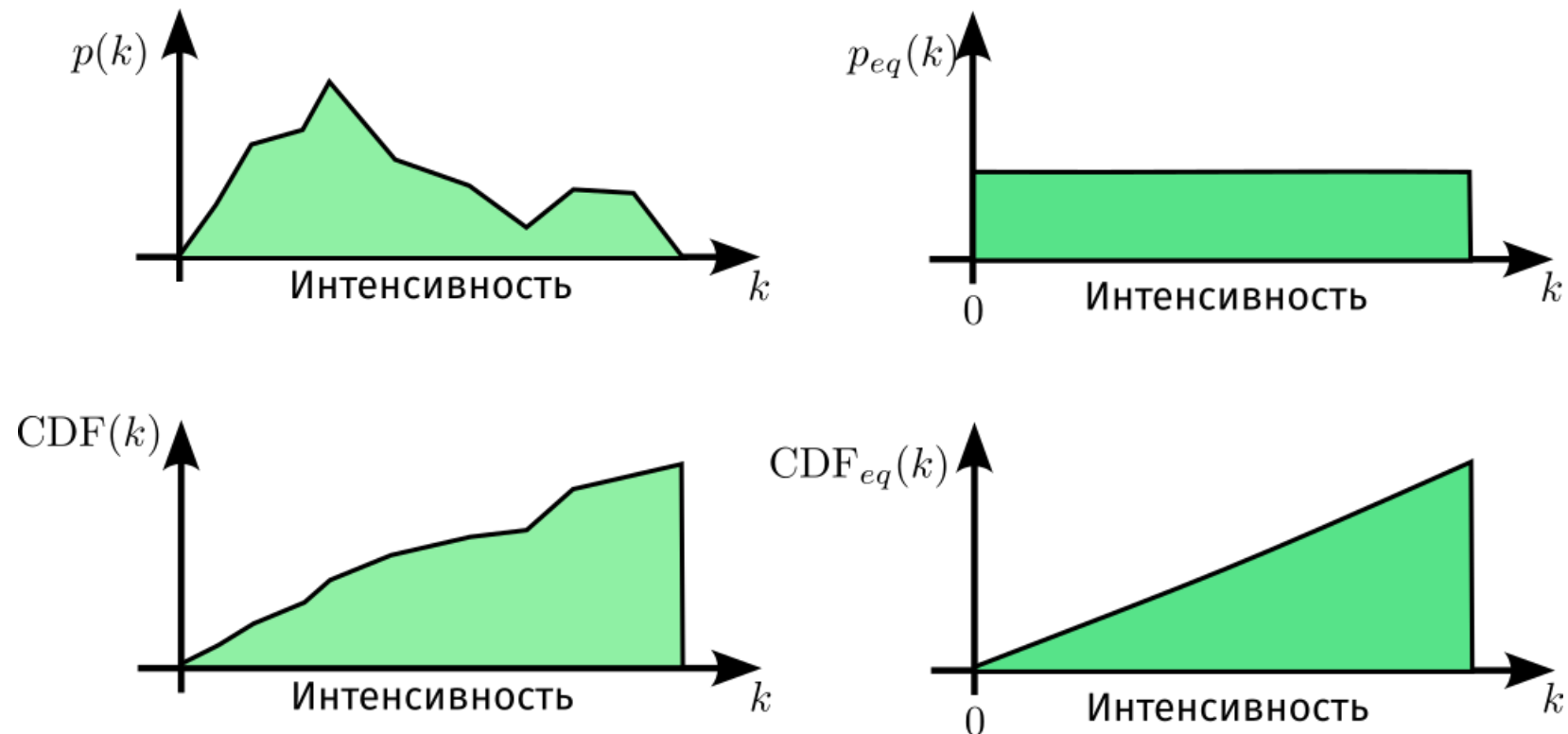
$$CDF_g(k) = \text{Prob}(g(x, y) < k) = \text{Prob}(T(f(x, y)) < k)$$

✓ Поскольку T монотонная функция, то можно преобразовать неравенство $T(f(x, y)) < k$ к виду $f(x, y) < T^{-1}(k)$, т.е.

$$CDF_g(k) = \text{Prob}(T(g(x, y)) < k) = \text{Prob}(f(x, y) < T^{-1}(k))$$

✓ По определению $\text{Prob}(f(x, y) < T^{-1}(k)) = CDF_f(T^{-1}(k))$

Эквализация гистограммы: результат



Предыдущие рассуждения показали, что

$$CDF_g(k) = CDF_f(T^{-1}(k))$$

При этом согласно наложенным ограничениям $CDF_g(k) = CDF_{eq}(k) = k$, значит

$$CDF_f(T^{-1}(k)) = k$$

Т.е. функция T^{-1} является обратной к CDF_f и, следовательно $T = CDF_f$.

Эквализация гистограммы: переход к дискретному случаю

Для дискретного случая дискретная кумулятивная функция распределения равна:

$$\text{CDF}_f(k) = \sum_{i=0}^k p(i), \quad k = 0, 1, \dots, L - 1.$$

Чтобы из функции $\text{CDF}_f(k)$ получить преобразование $T(r)$, выполняющее эквализацию гистограммы, её необходимо умножить на $(L - 1)$, чтобы перейти к целочисленным значениям интенсивности.

$$T(k) = \lfloor (L - 1) \cdot \text{CDF}_f(k) \rfloor.$$

Эквализация гистограммы: пример

Задача: Выполнить эквализацию гистограммы изображения $f(x, y)$, имеющее общее число уровней яркости $L = 8$.

$f(x, y)$

	0	1	2	3	y
0	1	1	1	2	
1	2	4	3	2	
2	1	5	7	1	
3	3	2	2	1	
x					

Эквализация гистограммы: получение гистограммы

Задача: Выполнить эквализацию гистограммы изображения $f(x, y)$.

Изображение

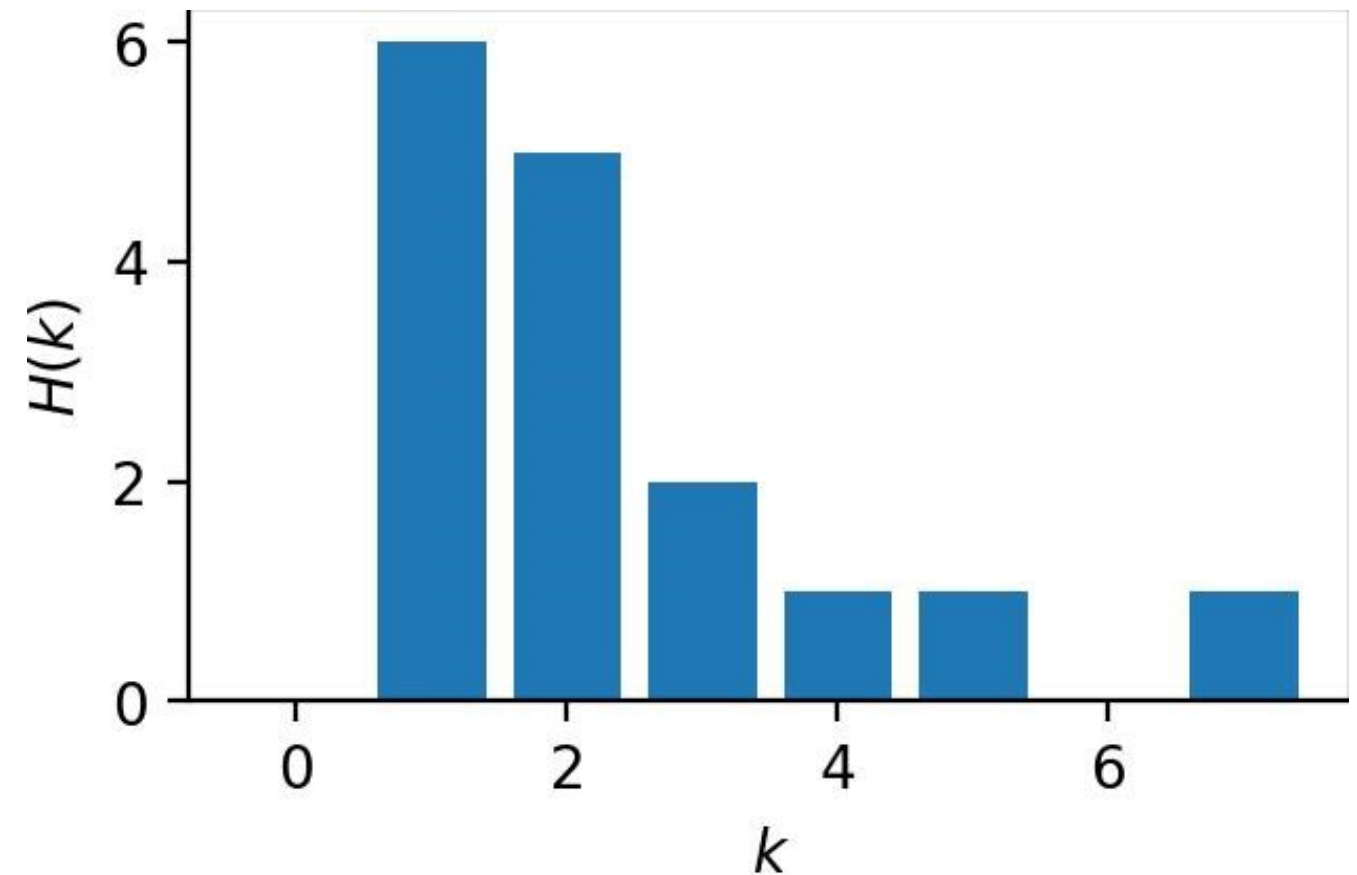
$f(x, y)$

	\emptyset	1	2	3	
\emptyset	1	1	1	2	$\rightarrow y$
1	2	4	3	2	
2	1	5	7	1	
3	3	2	2	1	
	$\downarrow x$				

Гистограмма (таблица)

k	$H(k)$
0	0
1	6
2	5
3	2
4	1
5	1
6	0
7	1

Гистограмма (график)



Эквализация гистограммы: нормировка гистограммы

Задача: Выполнить эквализацию гистограммы изображения $f(x, y)$.

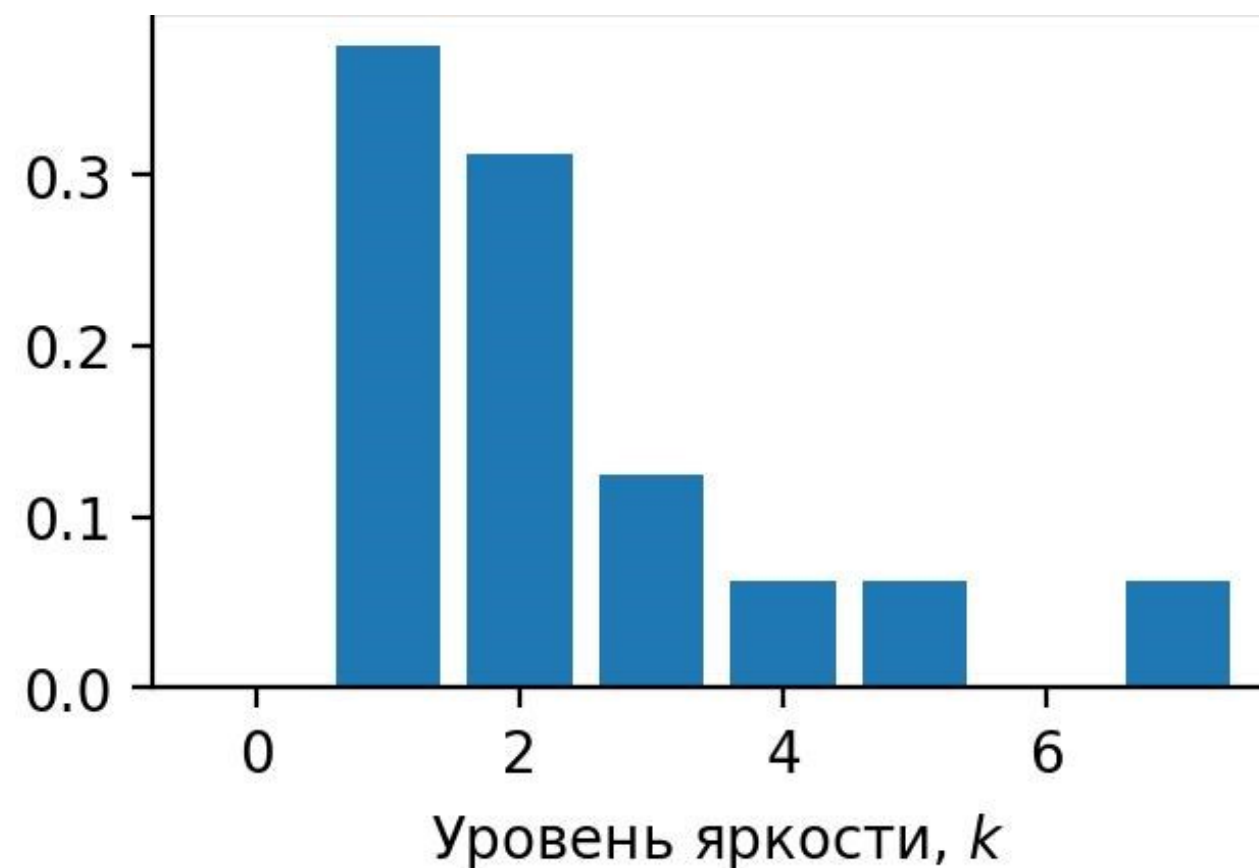
Изображение

		$f(x, y)$			
		0	1	2	3
0	y	1	1	1	2
1	y	2	4	3	2
2	y	1	5	7	1
3	y	3	2	2	1

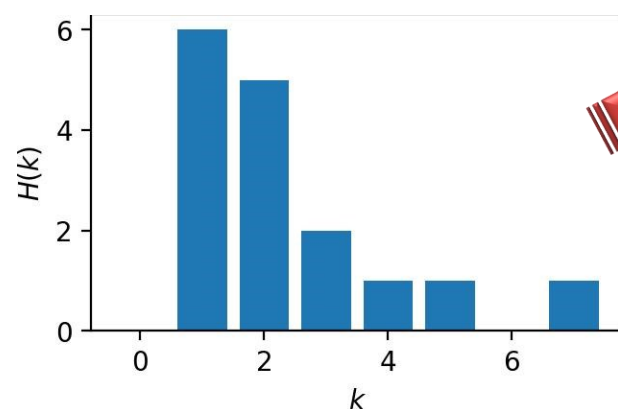
x

Функция распределения

$$p(k) = \frac{H(k)}{M \times N},$$



Гистограмма



Эквализация гистограммы: CDF

Задача: Выполнить эквализацию гистограммы изображения $f(x, y)$.

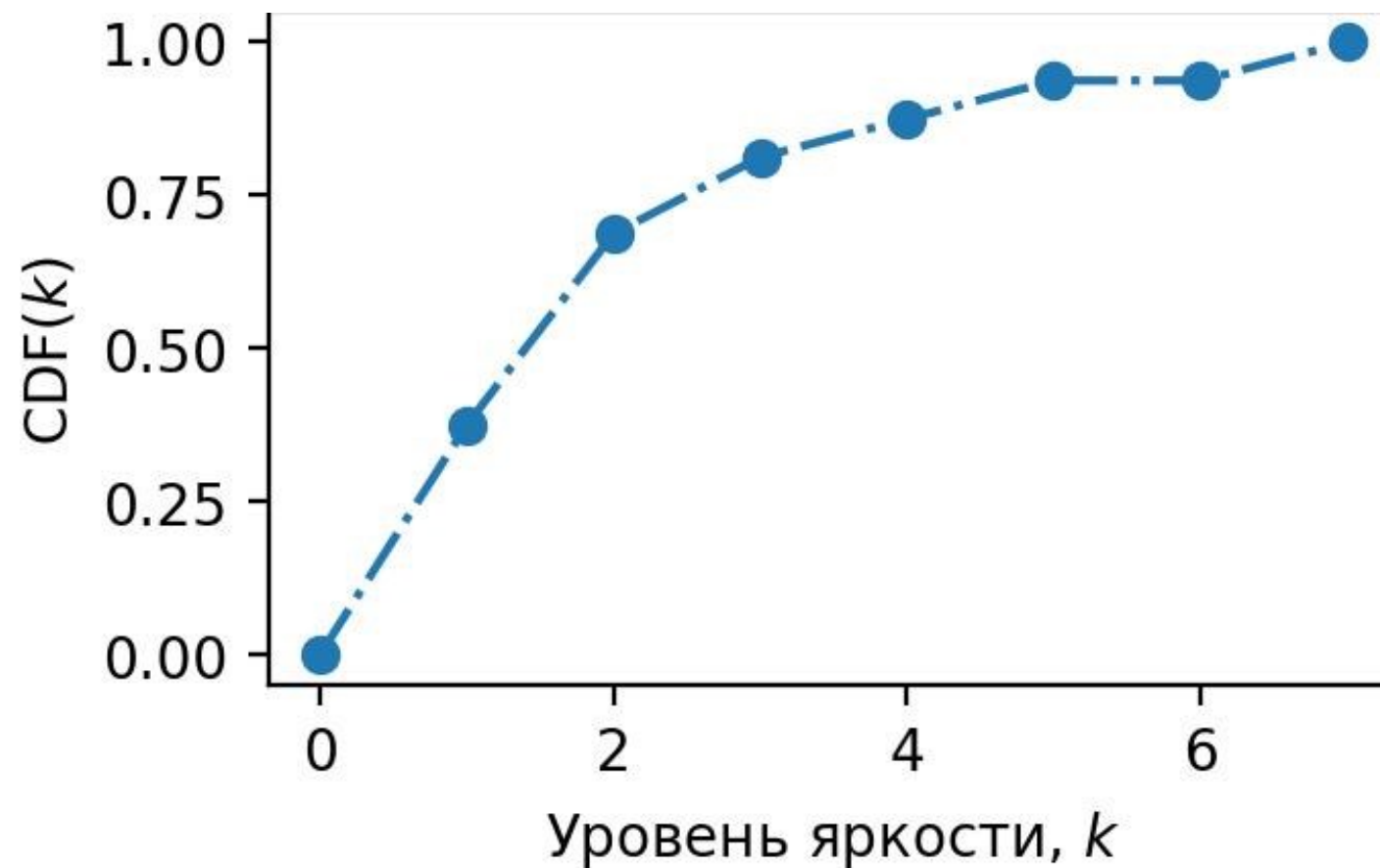
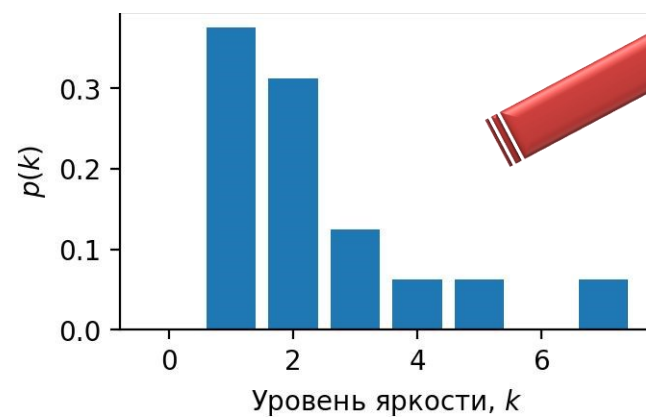
Изображение

	$f(x, y)$			
	0	1	2	3
0	1	1	1	2
1	2	4	3	2
2	1	5	7	1
3	3	2	2	1

Кумулятивная функция распределения

$$\text{CDF}_f(k) = \sum_{i=0}^k p(i), \quad k = 0, 1, \dots, L - 1.$$

$p(k)$



Эквализация гистограммы: функция отображения

Задача: Выполнить эквализацию гистограммы изображения $f(x, y)$.

Изображение

$f(x, y)$

	\emptyset	1	2	3	$\rightarrow y$
\emptyset	1	1	1	2	
1	2	4	3	2	
2	1	5	7	1	
3	3	2	2	1	

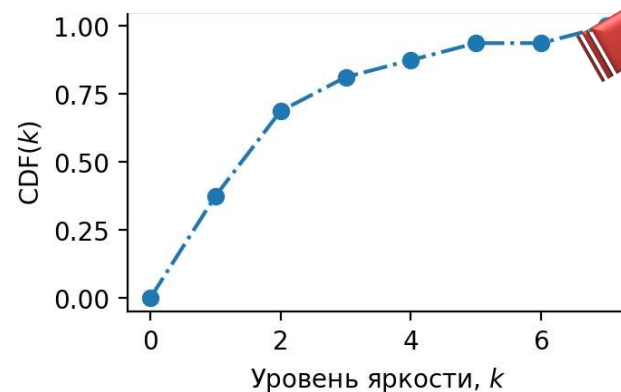
$\downarrow x$

Функция отображения

$$T(k) = \lfloor (L - 1) \cdot \text{CDF}_f(k) \rfloor.$$

k	0	1	2	3	4	5	6	7
CDF(k)	0	0.375	0.69	0.81	0.88	0.94	0.94	1
$7 \cdot \text{CDF}(k)$	0	2.6	4.8	5.7	6.1	6.5	6.5	7
$T(k)$	0	2	4	5	6	6	6	7

CDF(k)

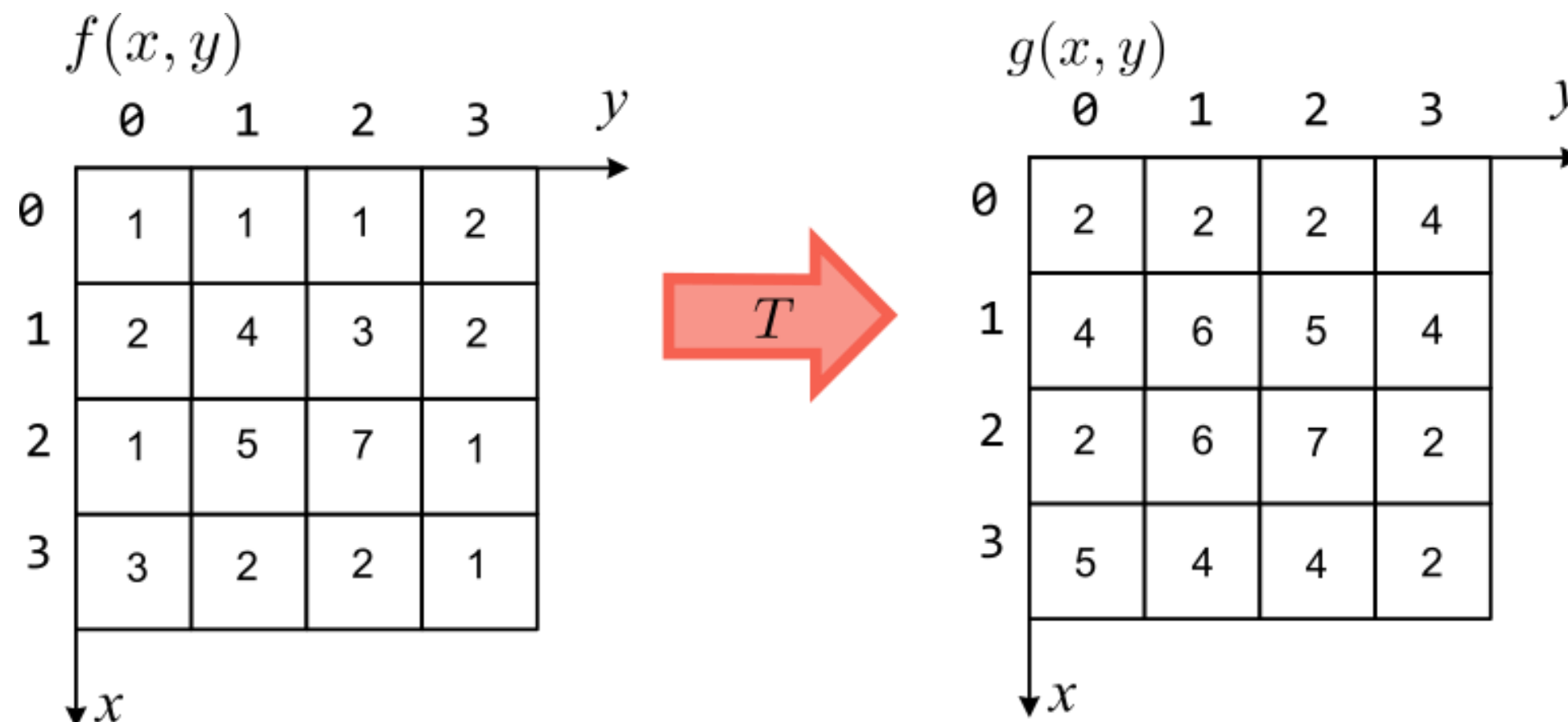


Эквализация гистограммы: результат

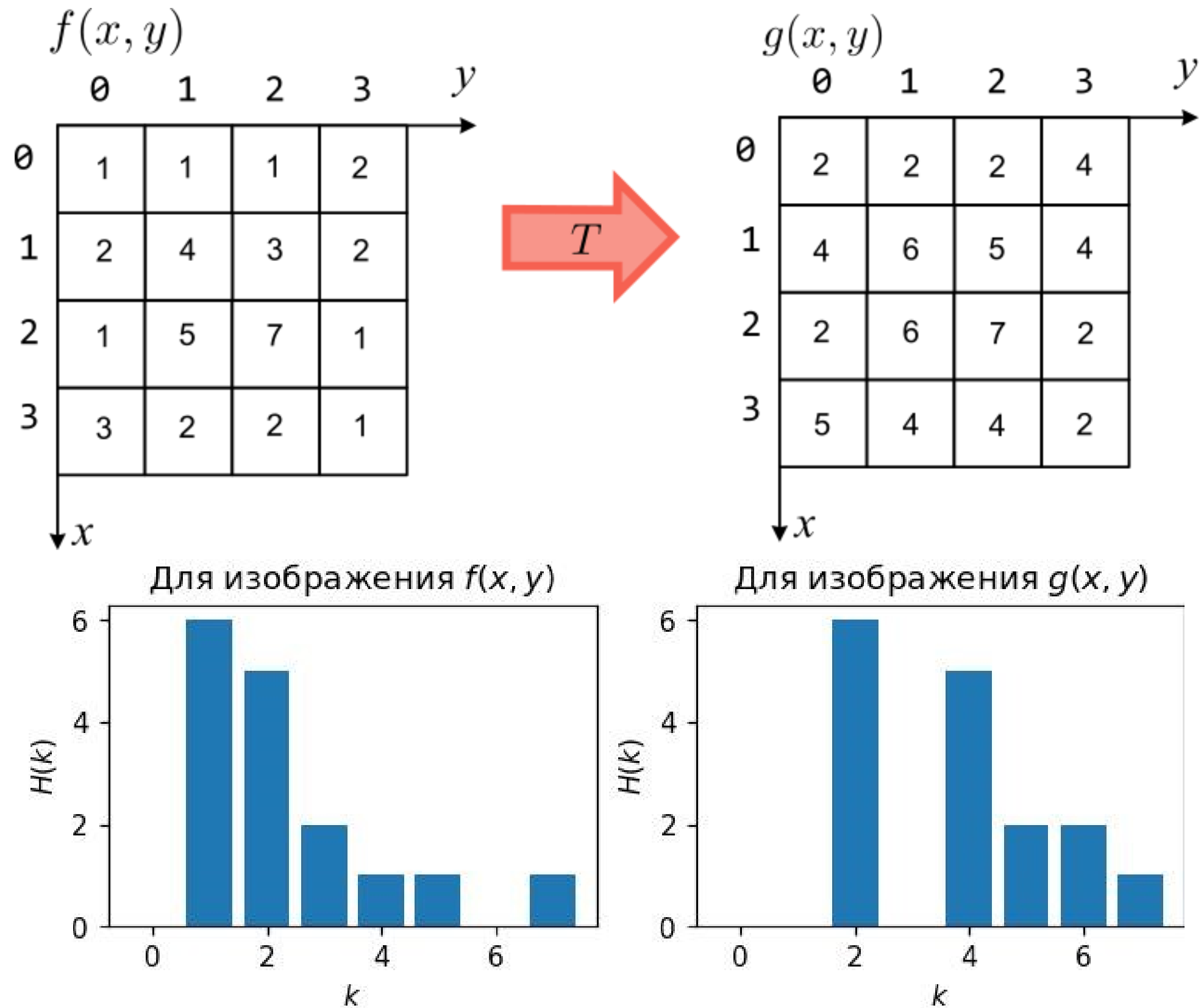
Задача: Выполнить эквализацию гистограммы изображения $f(x, y)$.

Преобразование изображения

k	0	1	2	3	4	5	6	7
$T(k)$	0	2	4	5	6	6	6	7

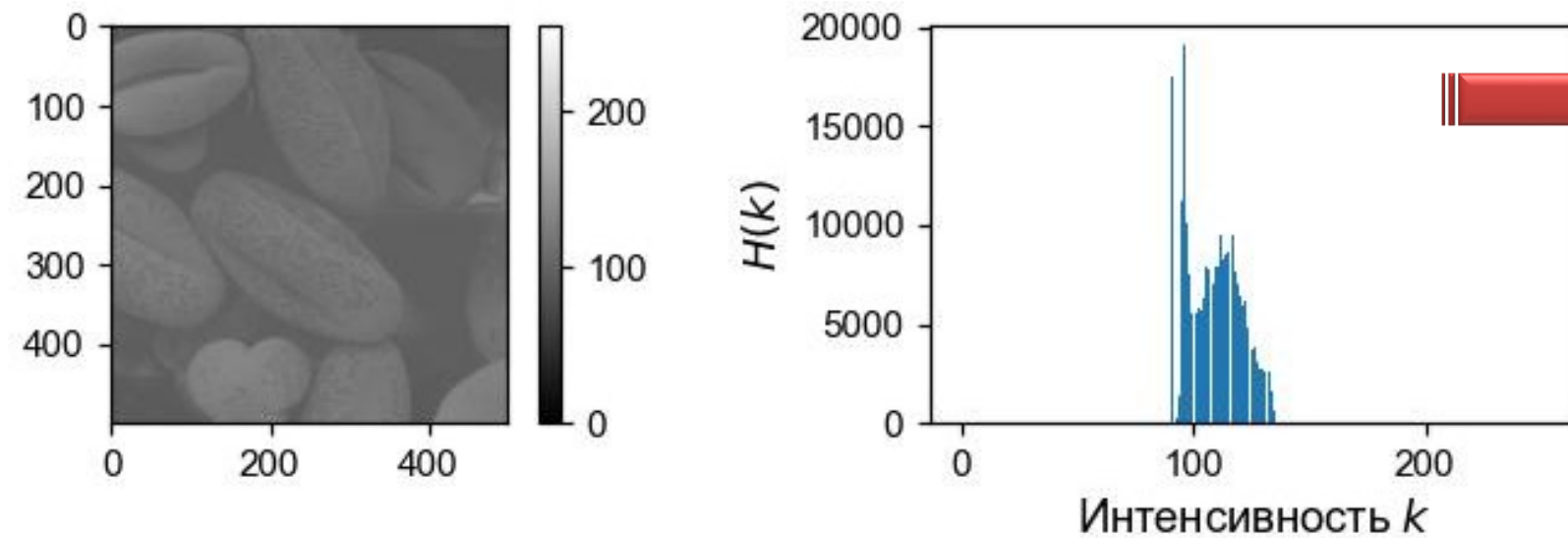


Эквализация гистограммы: сравнение гистограмм

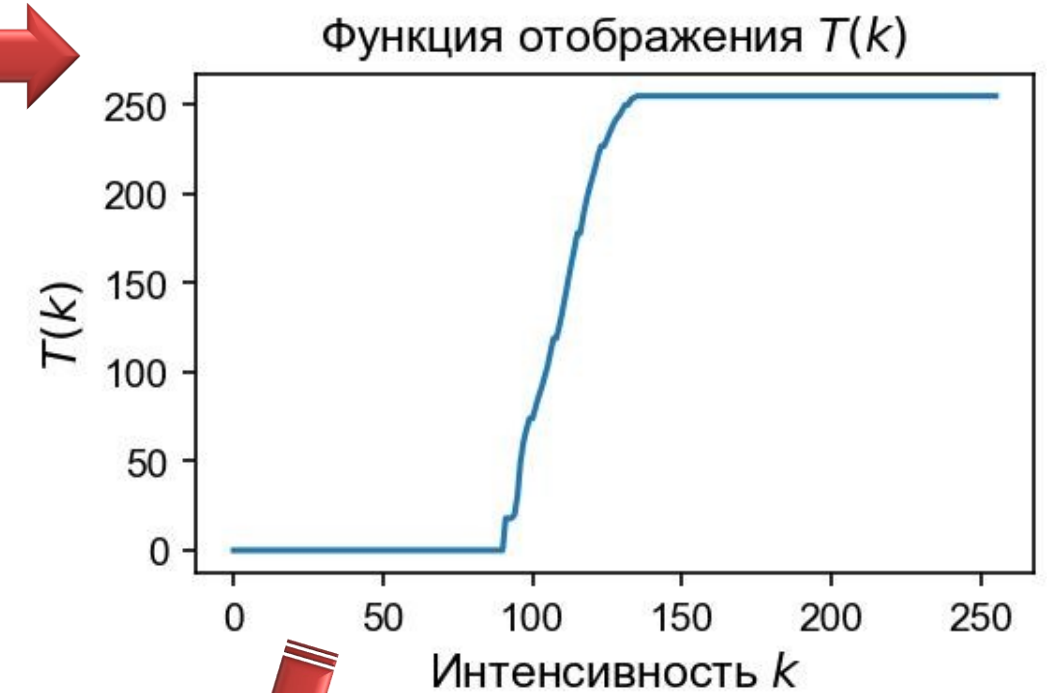


Эквализация гистограммы: реальное изображение

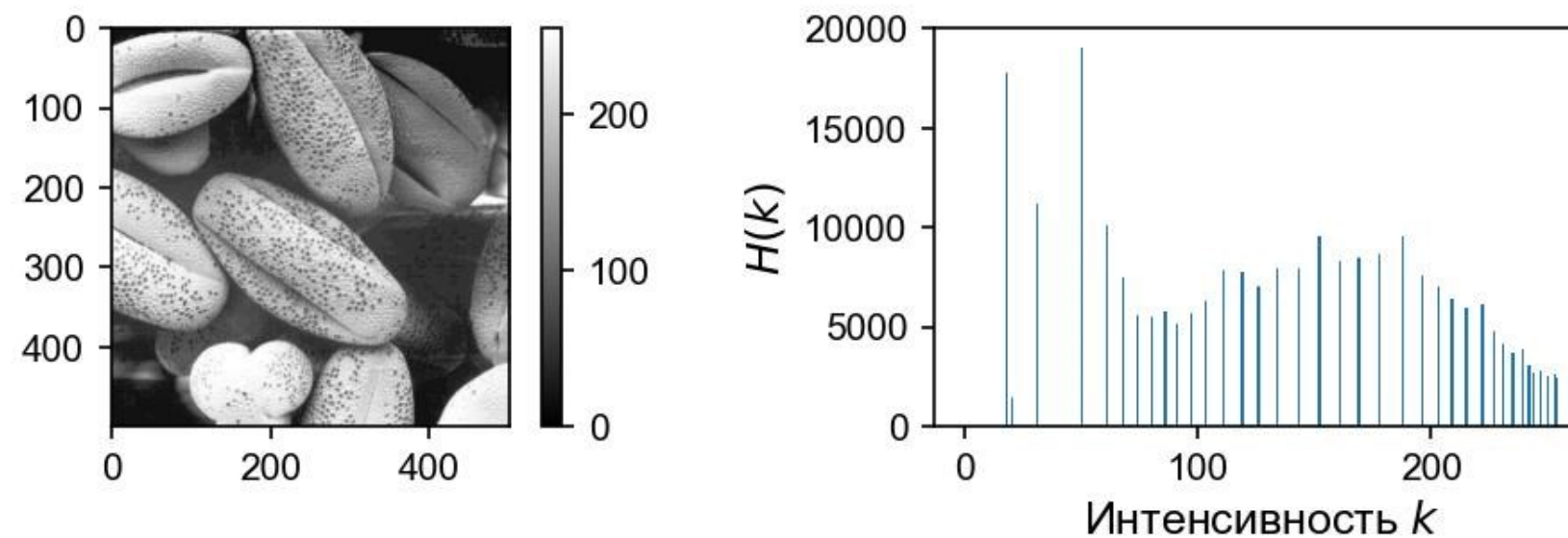
Исходное изображение и гистограмма



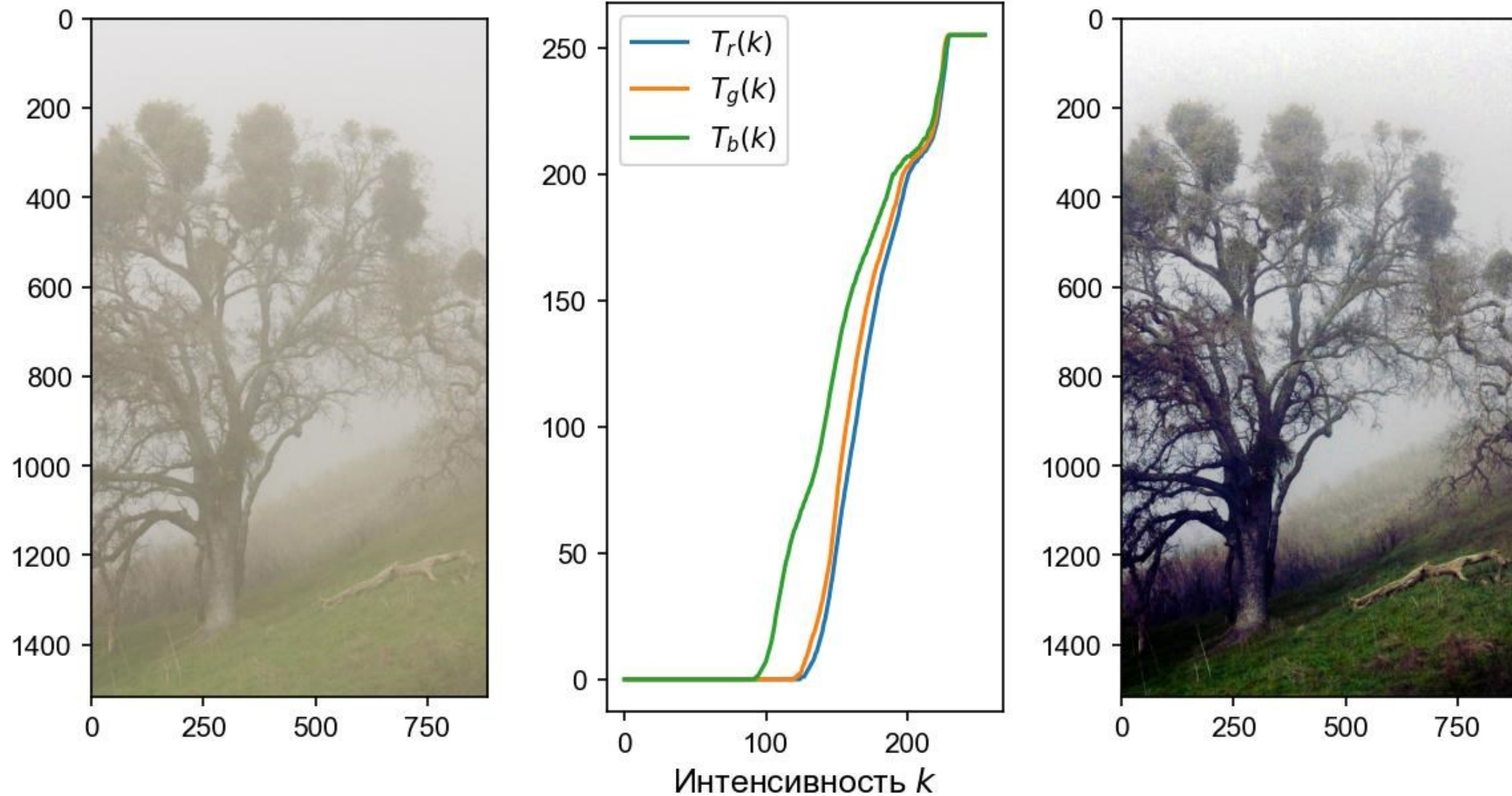
Функция отображения



Результат обработки



Эквализация гистограммы: цветное изображение



По центру показаны функции преобразования для каждого канала.