

# Фотографическая широта

**Фотографическая широта, динамический диапазон фотоматериала** — характеристика светочувствительного материала (фотоплёнки, передающей телевизионной трубки, матрицы) в фотографии, телевидении и кино.

- Определяет способность светочувствительного материала правильно передавать яркость снимаемого объекта.
- Измеряется как отношение величин максимальной и минимальной экспозиции линейного участка характеристической кривой.
- Выражается в виде двоичного («ступени экспозиции», «f-ступень», единица измерения «EV») или десятичного («плотность», единица измерения «D») логарифма, редко в линейной (количество градаций, измеряется в битах), этого отношения.

- Правильная передача яркостей означает, что с некоторой точностью равные отличия яркостей элементов объекта передаются равными отличиями в его изображении (иными словами, передаточная характеристика на данном участке достаточно линейна).
- Для цветных фотоматериалов дополнительным критерием правильности является Баланс белого цвета для соответствующего диапазона экспозиций.

$$L = \lg(H_2/H_1) = \lg H_2 - \lg H_1$$

где  $L$  — фотографическая широта,  $H$  — экспозиция,

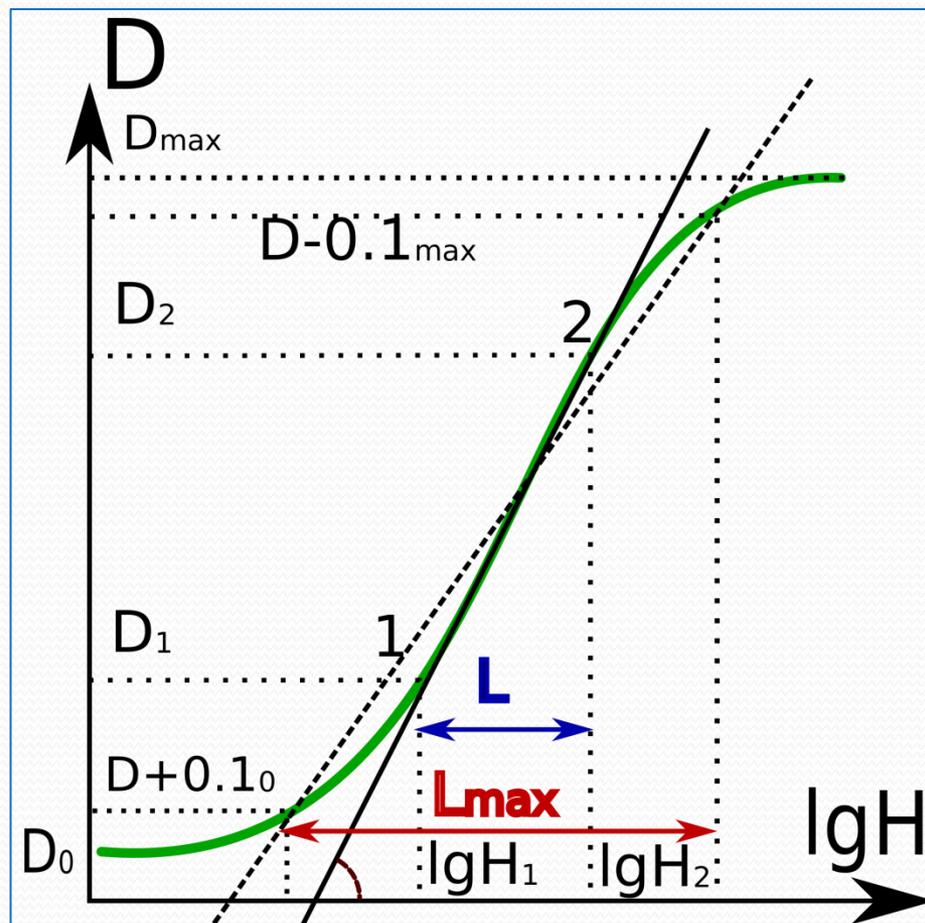


Рис. 1. Характеристическая кривая типичной фотоплёнки

- Динамический диапазон фотоматериала — синоним фотографической широты.
- В современной фотографии термин «Фотографическая широта» традиционно применяется чаще для собственно плёночного фотографического процесса, в то время как «Динамический диапазон» — для электронной аппаратуры (например, телекамер) и в цифровой обработке изображений (например, по отношению к сканерам).

- Также термин «**фотографическая широта**» используется как характеристика всего фотографического процесса (а не отдельного его элемента) — от снимаемого объекта до конечного изображения. В этом случае она может быть как меньше фотографической широты светочувствительного материала (из-за недостатков преобразования изображения), так и больше её (благодаря применению технологии HDRi).

## Типичные показатели фотографической широты фотоматериалов

- Для практического использования чаще используют понятие «полезная фотографическая широта» материала —  $L_{\max}$  на рис.1.
- Отвечает «полезному интервалу экспозиций», и соответствует «умеренной нелинейности» — более длинному участку характеристической кривой, от порога наименьшего почернения до точки вблизи точки *максимальной оптической плотности* фотослоя.
- Порог наименьшего почернения определяется как  $D_{o+0,1}$ , где  $D_o$  — оптическая плотность вуали.

- Чёрно-белые негативные плёнки от 2,5 до 9 ступеней.
- Чёрно-белые слайдовые (обрацаемые) плёнки от 1,5 до 5 ступеней.
- Чёрно-белые фотобумаги: 0,7 (контрастные) — 1,7 (мягкие)
- Цветные негативные плёнки от 4 до 5 ступеней.
- Цветные слайдовые (обрацаемые) плёнки от 2 до 4 ступеней.
- Специальные сверхконтрастные плёнки — менее 2 ступеней экспозиции.

- Специальные низкоконтрастные плёнки — более 11 ступеней экспозиции.
- Ранние ССD-матрицы — 5 ступеней.
- Типичные современные матрицы для систем видеонаблюдения — 9—10 ступеней, однако сейчас в таких камерах применяется HDR, в результате фотографическая широта такой камеры в целом может быть произвольной.
- Современные ССD-матрицы RGBG (основной производитель — Sony) — 9—10 ступеней.



Рис. 2 Характеристическая кривая цифровой фотографической матрицы

- Матрицы с фильтрами CYGM (сокр. от англ. *Cyan Yellow Green Magenta*), RGBW (сокр. от англ. *Red Green Blue White*, например CFAK-матрица) — 10—11 ступеней.
- Super-CCD-матрицы rgbG в аппаратах Fuji S3 Pro — 9—12 ступеней.
- Цифровая SIMD-матрица (сокр. от англ. *Single Instruction, Multiple Data*) — по последним данным, 16 и более ступеней.

## Зачем увеличивать фотографическую широту

- Рис. 3 Дефекты «выгорания» светов (А) и зачернения теней (В) на снимке, сделанном на материал с недостаточной для данной сцены фотографической широтой.
- Недостаточная фотографическая широта фотографического процесса приводит к потере деталей изображения (клиппинг в светах и тенях конечного изображения (см. рис. 3).



- Глаз человека, благодаря сложной системе регулирования, обладает высочайшей способностью к восприятию и передаче диапазона яркостей света и цвета объекта.
- Поэтому, чем больше фотографическая широта фотографического процесса, тем больший диапазон полученных в его результате изображений может быть воспринят глазом как реалистические, за реалистичность самого диапазона отвечает его глубина цвета.

## **Ограничение снизу: аналоговая вуаль и цифровой шум**

- Для фотографической плёнки и фотобумаги — плотность вуали (собственная оптическая плотность неэкспонированного материала);
- для аналоговых устройств — величина собственного шума устройства;
- для цифровых устройств — величина собственного теплового шума матрицы + шум переноса заряда + величина погрешности АЦП (аналого-цифрового преобразования), также называемая «шумом дискретизации» или «шумом квантования сигнала».
- Чем больше собственный аналоговый шум и вуаль плёнки, тем выше (при прочих одинаковых параметрах преобразования) тот минимальный уровень экспозиции, при котором начинается линейная часть характеристической кривой материала, тем меньше фотографическая широта.

- Шум квантования означает, что несмотря на сохранение формальной линейности преобразования, плавное изменение яркости передаётся в виде ступенчатого сигнала, а значит, не всегда разные уровни яркости объекта передаются разными уровнями выходного сигнала. На рисунке показан пример для АЦП с разным уровнем дискретизации. При трёхуровневом АЦП в диапазоне 0—1 ступеней экспозиции любые изменения яркости преобразуются в значение 0 или 1.



- Поэтому все детали изображения, оказавшиеся в этом диапазоне экспозиций, будут потеряны. При четырёхуровневом АЦП передача деталей в диапазоне экспозиций 0—1 становится возможной, а это и означает расширение фотографической широты.



## Влияние зернистости и цветопередачи на широту

- Нижний порог фотографической широты плёнки дополнительно обусловлен уровнем зернистости или «шума».
- В чёрно-белых фотоплёнках зёрна серебра в светочувствительном слое формируют изображение и определяют зернистость.
- В цветных фотоплёнках каждое зерно металлического серебра при цветном проявлении порождает существенно более крупное образование из красителя.

- Это делает принципиально различным характер шума на различных типах плёнок и затрудняет точное определение нижней границы экспозиции.
- Кроме того, в нелинейных областях искажается цветопередача на плёнке из-за различных свойств цветочувствительных слоёв, что дополнительно уменьшает фотографическую широту цветных плёнок по сравнению с чёрно-белыми.

## Ограничения сверху: насыщение и переэкспозиция

- Для фотоплёнки и фотобумаги это плотность засвеченных участков, нелинейность степени почернения при высоких экспозициях;
- для аналоговых устройств это максимальная величина сигнала, снимаемого со светочувствительного элемента;
- для цифровых устройств это максимальное числовое значение пиксела.