

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ, Д. К. БАЛАБУХА и Т. М. ЛЕВЕНБЕРГ

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА
НА МНОГОСЛОЙНЫХ ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ**

(Представлено академиком А. Н. Терениным 30 IV 1951)

Развитие цветной фотографии на многослойных фотографических материалах с применением цветного проявления ставит на очередь вопрос о разработке рационального способа количественной оценки результата действия света и проявителя на такие светочувствительные соли, т. е. способа измерения возникающих цветных полей. В черно-белой фотографии аналогичная задача количественной оценки возникающих почернений решается двояко: либо путем определения количества металлического серебра на единице площади почернения (т. е. поверхностной концентрации серебра), либо, гораздо чаще, путем измерения оптической плотности последнего. Отношение численных значений этих двух видов оценки носит название фотометрического эквивалента. В цветной фотографии задача усложняется тем, что продуктами фотохимических процессов, разыгрывающихся в трех элементарных слоях, образующих многослойный материал, являются одновременно три красителя, и что в зависимости от соотношения количеств последних цветные поля могут быть самых разнообразных цветов, характеризоваться самыми различными спектральными кривыми коэффициента пропускания (пленки) или отражения (бумаги), что делает понятие оптической плотности отнюдь не однозначным.

Возможны три способа оценки цветных полей, из которых первые два в известном смысле аналогичны применяемым в черно-белой фотографии. Во-первых, можно измерять поверхностные концентрации трех красителей в трех элементарных слоях, образующих цветное поле. Во-вторых, можно измерять оптические плотности цветного поля в целом по отношению к трем спектрально-избирательным приемникам лучистой энергии в цветовоспринимающем устройстве: в позитивном цветном материале при оценке проявленного негативного материала и в человеческом глазу при оценке проявленного позитивного материала. Наконец, можно измерять цвет поля, выражая его в цветовых координатах или даже в виде спектральных кривых коэффициента пропускания или отражения.

Каждый из этих трех видов оценки имеет право на существование соответственно тем или иным запросам фотографической практики. Однако первый из них занимает, по нашему убеждению, особое место. Характеризуя химико-физическую причину возникновения цвета и не будучи связан, в отличие от двух других видов оценки, с какими-либо соображениями о способе использования цветного поля, такой вид оценки должен быть признан первичным по отношению

к двум другим, которые могут быть выведены из него. К тому же лишь такая оценка позволяет судить о химических процессах, протекающих в цветофотографическом материале. Здесь кроется некоторое принципиальное отличие от черно-белой фотографии, где между двумя вышеописанными видами оценки почернения существует близкая к линейной связь (фотометрический эквивалент практически изменяется лишь в узких пределах и спектральный состав излучения играет весьма малую роль); у трехслойных же материалов о линейной связи не может быть и речи.

Поскольку методом определения поверхностных концентраций красителей в трехкомпонентных системах, какими являются многослойные материалы, не было до сих пор уделено сколько-нибудь заметного внимания, нами был разработан описываемый ниже спектрофотометрический метод их измерения.

Если красители цветного процесса при всех практически встречающихся концентрациях подчиняются закону Бугера ($D_\lambda = k_\lambda cl$, где в данном случае толщина слоя $l = \text{const}$), то, измеряя монохроматические оптические плотности D_λ цветного поля при таком числе длин волн, которое равно числу светопоглощающих компонент системы (обычно 3, а при наличии в цветном изображении остаточного серебра 4), можно использовать следующую систему линейных уравнений:

$$\begin{aligned} D_{\lambda_1} &= k'_{\lambda_1}c' + k''_{\lambda_1}c'' + k'''_{\lambda_1}c''', \\ D_{\lambda_2} &= k'_{\lambda_2}c' + k''_{\lambda_2}c'' + k'''_{\lambda_2}c''', \\ D_{\lambda_3} &= k'_{\lambda_3}c' + k''_{\lambda_3}c'' + k'''_{\lambda_3}c'''. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь поверхностные концентрации c' , c'' и c''' трех красителей в элементарных слоях многослойного материала являются искомыми, а удельные коэффициенты поглощения k'_{λ_1} , k''_{λ_1} и т. д. суть ординаты трех спектральных кривых оптических плотностей элементарных слоев при единичных концентрациях красителя, раз навсегда определяемые.

Точность определения концентраций тем выше, чем более различаются между собой коэффициенты поглощения трех красителей при длинах волн, выбранных для производства измерений. Поэтому эти длины волн были выбраны примерно соответственно положению максимумов на кривых поглощения. Для исследовавшихся нами цветофотографических материалов (см. рис. 2) это было: у негативов $\lambda = 440$, 530 и 790 м μ , а у позитивов $\lambda = 440$, 530 и 670 м μ . Допустимые небольшие отклонения от этих величин. Расчетами и экспериментально (с помощью двойного монохроматора — интегратора с селеновым фотоэлементом, в средней фокальной плоскости которого располагались прямоугольные диафрагмы различной ширины) были установлены максимально допустимые спектральные интервалы излучений для спектрофотометрирования. Оказалось, что в нашем случае они составляют для фиолетовой области спектра 20 м μ , для зеленой области 40 м μ и для красной области 30 м μ .

Было установлено, что красители многослойных цветофотографических материалов действительно строго подчиняются закону Бугера во всем практически используемом диапазоне концентрации красителей. Для этого различно экспонированные однослойные образцы, содержащие в каждом случае один из красителей, подвергались спектрофотометрированию и для каждого поля (каждой концентрации красителя) строились кривые $\lg D_\lambda = f(\lambda)$. Как видно из приводимых на рис. 1 в качестве примера семейств кривых позитивных красителей, все кривые каждого семейства совершенно параллельны друг другу. Это свидетельствует о соблюдении закона Бугера и, следовательно, о законности применения вышеприведенных линейных уравнений (1).

Для использования тех же уравнений для определения концентраций необходимо знать численные значения коэффициентов поглощения каждого из красителей при трех избранных длинах волн. Однако абсолютные значения этих коэффициентов могут быть определены

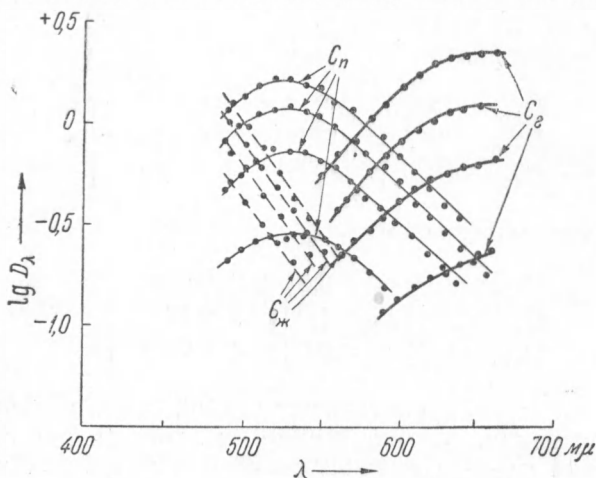


Рис. 1

лишь в том случае, если известны абсолютные поверхностные концентрации красителей. Но эти последние не могут быть установлены непосредственно в желатиновом слое. Поэтому впредь до выделения

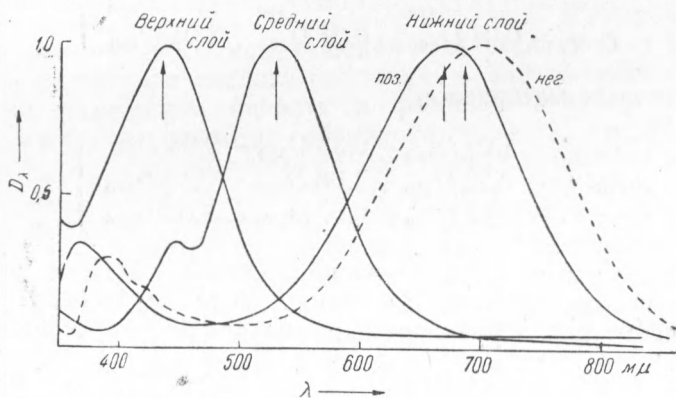


Рис. 2

красителей в чистом виде приходится прибегать к определению концентраций в относительных единицах, что при разумном выборе их вполне достаточно для всех целей цветной фотографии.

Предлагается считать единичной относительной поверхностной концентрацией такую концентрацию каждого красителя, при которой монохроматическая оптическая плотность желатинового слоя, содержащего данный краситель, в максимуме кривой поглощения равна единице. Выбор такой единицы концентраций оправдывается как аналогией с фотометрическим эквивалентом в сенситометрии черно-белых фотографических материалов, так и наглядностью единицы, поскольку для цветного поля, содержащего лишь один краситель оптическая плотность в максимуме и поверхностная концентрация оказываются численно равными. На рис. 2 представлены

кривые поглощения красителей негативных и позитивных материалов при единичных относительных поверхностных концентрациях каждого из красителей.

После установления системы единиц концентраций стало возможным определить численные значения удельных коэффициентов поглощения. Уравнения (1) приобрели вид:
для негативных материалов

$$\left. \begin{aligned} D_{440} &= 1,00 c_{ж} + 0,32 c_{п} + 0,13 c_{г} \\ D_{530} &= 0,17 c_{ж} + 1,00 c_{п} + 0,09 c_{г} \\ D_{690} &= 0,05 c_{ж} + 0,05 c_{п} + 1,00 c_{г} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

и для позитивных материалов

$$\left. \begin{aligned} D_{440} &= 1,00 c_{ж} + 0,34 c_{п} + 0,09 c_{г} \\ D_{530} &= 0,19 c_{ж} + 1,00 c_{п} + 0,14 c_{г} \\ D_{670} &= 0,04 c_{ж} + 0,08 c_{п} + 1,00 c_{г} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь $c_{ж}$, $c_{п}$ и $c_{г}$ представляют собой относительные поверхностные концентрации, соответственно, желтого (верхний слой), пурпурного (средний слой) и сине-зеленого или голубого (нижний слой) красителей.

Для вычисления концентраций в элементарных слоях системы уравнения (2) и (3) преобразуются в следующие:
для негативных материалов

$$\left. \begin{aligned} c_{ж} &= 1,06 D_{440} - 0,33 D_{530} - 0,11 D_{690} \\ c_{п} &= -0,18 D_{440} + 1,05 D_{530} - 0,07 D_{690} \\ c_{г} &= -0,04 D_{440} - 0,04 D_{530} + 1,01 D_{690} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

и для позитивных материалов

$$\left. \begin{aligned} c_{ж} &= 1,08 D_{440} - 0,36 D_{530} - 0,04 D_{670} \\ c_{п} &= -0,20 D_{440} + 1,08 D_{530} - 0,13 D_{670} \\ c_{г} &= -0,03 D_{440} - 0,07 D_{530} + 1,02 D_{670} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Естественно, что эти уравнения приложимы лишь к данным (см. рис. 2) системам красителей. Изменение хотя бы одного красителя требует подстановки в уравнения новых численных значений коэффициентов.

Поступило
20 IV 1951